

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Белорусский национальный технический университет

Филиал БНТУ

«Минский государственный политехнический колледж»

**ЭЛЕКТРОННОЕ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ
ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ**

«ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ»

для специальностей 2-36 03 31-01 «Монтаж и эксплуатация электрооборудования (по направлениям)», для направления специальности 2-36 03 31-01 «Монтаж и эксплуатация электрооборудования (производственная деятельность)» 2-37 01 05 31 «Городской электрический транспорт»; 2-53 01 05 01 «Автоматизированные электроприводы»; 2-36 04 32 «Электроника механических транспортных средств».

Минск 2020

Автор:
Боровская В.И.

Рецензенты:
Еременко О.В., преподаватель филиала БНТУ «Минский государственный политехнический колледж»

Калечиц В.Н., старший преподаватель кафедры «Электроснабжение»
Белорусского национального технического университета

Учебно-методическое пособие предназначено для самостоятельного и дистанционного изучения учебной дисциплины «Электрические измерения» учащимся специальностей: 2-36 03 31-01 «Монтаж и эксплуатация электрооборудования (по направлениям)», для направления специальности 2-36 03 31-01 «Монтаж и эксплуатация электрооборудования (производственная деятельность)» 2-37 01 05 31 «Городской электрический транспорт»; 2-53 01 05 01 «Автоматизированные электроприводы»; 2-36 04 32 «Электроника механических транспортных средств».

В учебно-методическом пособии представлен теоретический и практический материал, а также материал, обеспечивающий контроль знаний для проведения текущей и итоговой аттестации.

Белорусский национальный технический университет.
Филиал БНТУ «Минский государственный политехнический колледж».
пр-т Независимости, 85, г. Минск, Республика Беларусь
Тел.: (017) 292-13-42 Факс: 292-13-42
E-mail: mgpk@bntu.by
<http://www.mgpk.bntu.by>
Регистрационный № ЭИ БНТУ/МГПК – 13.2020

©БНТУ, 2020
©Боровская В.И., 2020

Содержание

Пояснительная записка

Выписка из типового учебного плана

Междисциплинарные связи

Типовая (учебная) программа учебной дисциплины

Тематический план

Содержание программы

Критерии оценки результатов учебной деятельности учащихся

Литература

Перечень существенных и несущественных ошибок

Перечень разделов и тем учебной программы

Теоретический материал

Раздел 1. Основы метрологии

1.1 Основные понятия и определения

1.2 Погрешности измерений и средств измерений

Раздел 2. Методы и средства измерения параметров электрических сигналов и магнитных величин

2.1 Измерение напряжения и тока

2.2 Измерительные генераторы

2.3 Исследование формы и параметров сигналов

2.4 Измерение частоты, интервалов времени и сдвига фаз

2.5 Измерение мощности и энергии

2.6 Измерение магнитных величин

Раздел 3. Измерение параметров элементов и компонентов электрических и электронных цепей

3.1 Измерение сопротивлений

3.2 Измерение параметров конденсаторов и катушек индуктивности

3.3 Измерение параметров полупроводниковых приборов и интегральных микросхем

Раздел 4. Автоматизация измерений

Практический материал (методические указания и материалы для проведения лабораторных работ).

Самоконтроль знаний

Перечень вопросов к ОКР

Обязательная контрольная работа №1

Обязательная контрольная работа №2

Примерный перечень вопросов к экзамену, дифференцированному зачету

Перечень учебных изданий

Пояснительная записка

Учебное пособие предназначено для формирования знаний, умений и навыков, необходимых учащимся электротехнических специальностей.

Изложены базовые понятия метрологии и измерений, основы теории погрешностей измерений. Приведены методы, виды и средства измерений. Рассмотрены измерения тока, напряжения, измерительные генераторы, исследование формы и параметров сигналов, частоты, фазового сдвига, мощности, магнитных величин, параметров элементов электрических и электронных цепей.

Содержание соответствует программе утвержденной Министерством образования РБ № 169.

Учебное пособие может быть полезно учащимся смежных специальностей, программа образования которых включает вопросы электрических измерений.

Выписка из типового учебного плана

Из учебного плана специальности 2-36 04 32 «Электроника механических транспортных средств», на базе БШ; 15.05.2015 на базе СШ.

Учебная дисциплина «Электрические измерения» изучается на протяжении второго семестра.

Виды работ	Количество часов
	2 семестр обучения
Всего часов	80
Из них: лабораторных работ	20
Количество: тематических контрольных работ	2
обязательных контрольных работ	2
Экзамен	-

Выписка

Из учебного плана специальности 2-37 01 05 «Городской электрический транспорт», на базе СШ.

Учебная дисциплина «Электрические измерения» изучается на протяжении второго и третьего семестров.

Виды работ	Количество часов	
	2 семестр обучения	3 семестр обучения
Всего часов:	50	30
Из них: лабораторных работ	6	12
Количество: тематических контрольных работ	1	1
обязательных контрольных работ	1	1
домашних контрольных работ (заочная форма обучения)	-	1
Экзамен (дневная форма обучения)	-	-
Экзамен (заочная форма обучения)	-	1

Выписка

Из учебного плана специальности 2-36 03 31 «Монтаж и эксплуатация электрооборудования (по направлениям)», для направления специальности 2-36 03 31-01 «Монтаж и эксплуатация электрооборудования (производственная деятельность)», на базе СШ.

Учебная дисциплина «Электрические измерения» изучается на протяжении второго и третьего семестров.

Виды работ	Количество часов	
	2 семестр обучения	3 семестр обучения
Всего часов:	46	44
Из них: лабораторных работ	10	20
Количество: тематически контрольных работ	1	1
обязательных контрольных работ	1	1
Дифференцированный зачет (дневная форма обучения)	-	1
Экзамен (заочная форма обучения)	-	1

Выписка

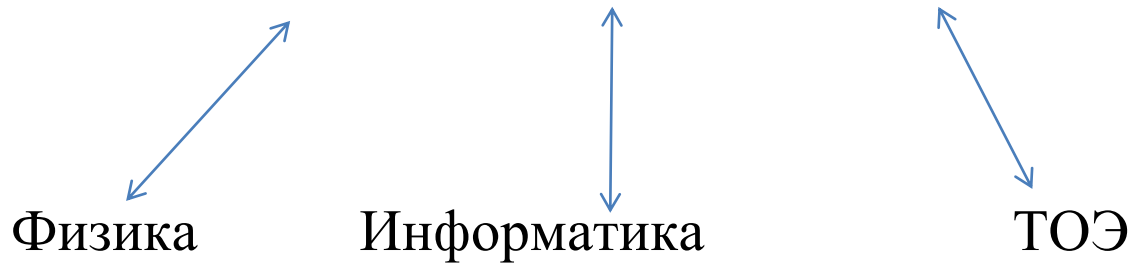
Из учебного плана специальности 2-53 01 05 «Автоматизированные электроприводы», на базе СШ.

Учебная дисциплина «Электрические измерения» изучается на протяжении второго семестра.

Виды работ	Количество часов
	2 семестр обучения
Всего часов	80
Из них: лабораторных работ	26
Количество: тематических контрольных работ	2
обязательных контрольных работ	1
Экзамен	1

Междисциплинарные связи

Дисциплина электрические измерения



Типовая учебная программа учебной дисциплины



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
РЕСПУБЛИКАНСКИЙ ИНСТИТУТ
ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

УТВЕРЖДЕНО
Постановление
Министерства образования
Республики Беларусь
28.11.2014 г. № 169

ТИПОВАЯ УЧЕБНАЯ ПРОГРАММА ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ «ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ»

профессионального компонента типовых учебных планов по специальности 2-36 03 31 «Монтаж и эксплуатация электрооборудования (по направлениям)», направлению специальности 2-36 03 31-01 «Монтаж и эксплуатация электрооборудования (производственная деятельность)», специальностям 2-37 01 05 «Городской электрический транспорт», 2-53 01 05 «Автоматизированные электроприводы», 2-53 01 01 «Автоматизация технологических процессов и производств» для реализации образовательной программы среднего специального образования, обеспечивающей получение квалификации специалиста со средним специальным образованием

Минск
2014

Рекомендовано к изданию экспертным советом
Республиканского института профессионального образования

Автор: *Е.Т. Харевская*, преподаватель УО «Минский государственный политехнический колледж».

Рецензенты: *Л.И. Рухля*, преподаватель УО «Молодечненский государственный политехнический колледж»;
А.В. Кучыло, старший преподаватель кафедры «Электротехника и электроника» Белорусского национального технического университета.

Ответственный за выпуск *В.А. Горюнова*, методист УО «Республиканский институт профессионального образования».

Типовая учебная программа обсуждена и одобрена бюро учебно-методического объединения в сфере среднего специального образования на республиканском уровне по специальностям в области энергетики.

Харьковская Елена Томасовна

**ТИПОВАЯ УЧЕБНАЯ ПРОГРАММА
ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ
«ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ»**

профессионального компонента типовых учебных планов
по специальности 2-36 03 31 «Монтаж и эксплуатация
электрооборудования (по направлениям)», направлению специальности
2-36 03 31-01 «Монтаж и эксплуатация электрооборудования
(производственная деятельность)», специальностям
2-37 01 05 «Городской электрический транспорт»,
2-53 01 05 «Автоматизированные электроприводы»,
2-53 01 01 «Автоматизация технологических процессов
и производств» для реализации образовательной программы
среднего специального образования, обеспечивающей получение
квалификации специалиста со средним специальным образованием

Редактор Л. Э. Тявлянок
Компьютерная верстка Н. В. Свеченок

Подписано в печать 29.12.2014. Формат 60×84/16.
Гарнитура «Таймс». Бумага офсетная. Ризография.
Усл. печ. л. 1,16. Уч.-изд. л. 0,99. Тираж 40 экз. Заказ 327. Код 107/14.
Издатель и полиграфическое исполнение:
Республиканский институт профессионального образования.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 1/245 от 27.03.2014.
Ул. К. Либкнехта, 32, 220004, Минск. Тел.: 226-41 00, 200-43 88.
Отпечатано в Республиканском институте
профессионального образования. Тел. 200 69 45

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Типовая учебная программа учебной дисциплины «Электрические измерения» (далее программа) предусматривает изучение основ метрологии, методов и средств измерений электрических и магнитных величин.

Цель преподавания учебной дисциплины – развитие профессиональной компетентности в области измерений и исследований параметров электрических сигналов.

Изучение учебной дисциплины «Электрические измерения» базируется на знаниях, полученных учащимися в ходе изучения общеобразовательных учебных дисциплин.

При изложении программного учебного материала следует учитывать новейшие достижения отечественной и зарубежной науки и техники в области электрических измерений, строго соблюдать единство терминологии и обозначений технических величин согласно действующим техническим нормативным правовым актам.

Для лучшего усвоения учащимися программного учебного материала, активизации их познавательной деятельности, развития творческого мышления целесообразно использовать практико-ориентированные технологии преподавания, различные формы проведения занятий, интенсивные методы и приемы обучения. Для обеспечения должного уровня подготовки специалистов в процессе изучения учебной дисциплины рекомендуется использовать технические средства обучения (компьютеры, мультимедийные комплексы, вычислительную технику и др.), а также демонстрационные средства (схемы, плакаты, чертежи, модели). Программа содержит примерный перечень оснащения кабинета оборудованием, техническими и демонстрационными средствами обучения, необходимыми для обеспечения образовательного процесса.

Для закрепления теоретического материала и формирования у учащихся необходимых умений и навыков программой предусмотрено проведение лабораторных занятий.

В целях контроля усвоения программного учебного материала предусмотрено проведение двух обязательных контрольных работ, задания для которых разрабатываются преподавателем учебной дисциплины и обсуждаются на заседании предметной (цикловой) комиссии учреждения образования.

Программой определены цели изучения каждой темы, спрогнозированы результаты их достижения в соответствии с уровнями усвоения учебного материала.

В результате изучения учебной дисциплины учащиеся должны знать на уровне представления:
основные направления автоматизации измерений электрических величин; информационно-измерительные системы;

измерительно-вычислительные комплексы;
перспективы развития электронизмерительной техники;
знать на уровне понимания:
общие сведения об измерительных механизмах;
основы метрологии;
методику определения погрешностей измерений и средств измерений электрических величин;
условные обозначения на шкалах приборов;
методы и средства измерений напряжения и тока; частоты, интервалов времени и фазового сдвига; электрической мощности; элементов и компонентов электрических и электронных цепей;
устройство, принцип действия, характеристики и область применения измерительных генераторов;
методы и средства измерений и исследований формы и параметров сигнала;
уметь:
выполнять расчеты значений измеряемых величин и показателей точности измерений;
определять параметры и характеристики средств измерений;
выполнять измерения и исследование параметров электрических сигналов;
пользоваться справочной литературой;
пользоваться электронизмерительными приборами с учетом требований безопасности труда.

В программе приведены примерные критерии оценки результатов учебной деятельности учащихся по учебной дисциплине, разработанные на основе десятибалльной шкалы и показателей оценки результатов учебной деятельности обучающихся в учреждениях среднего специального образования (постановление Министерства образования Республики Беларусь от 29.12.2004 № 17).

Приведенный в программе тематический план является рекомендательным. Предметная (цикловая) комиссия учреждения образования может внести обоснованные изменения в содержание программного учебного материала и распределение учебных часов по темам в пределах общего бюджета времени, отведенного на изучение учебной дисциплины. Все изменения должны быть утверждены заместителем руководителя учреждения образования по учебной работе.

ГОСТ 9829-81. Осциллографы светолучевые. Общие технические условия.
ОСТ 14265-79. Приборы электроизмерительные аналоговые контактные прямого действия. Общие технические условия

ГОСТ 23624-79. Трансформаторы тока измерительные лабораторные. Общие технические условия.

ГОСТ 23706-93. Приборы аналоговые показывающие электроизмерительные прямого действия и вспомогательные части к ним. Часть 6. Особые требования к омметрам (приборам для измерения полного сопротивления) и приборам для измерения активной проводимости.

ГОСТ 23737-79. Меры электрического сопротивления. Общие технические условия.

ГОСТ 24855-81. Преобразователи измерительные тока, напряжения, мощности, частоты, сопротивления аналоговые. Общие технические условия.

ГОСТ 30012.1-2002. Приборы аналоговые показывающие электроизмерительные прямого действия и вспомогательные части к ним. Часть 1. Определения и основные требования, общие для всех частей.

ГОСТ 30012.1-93. Приборы аналоговые показывающие электроизмерительные прямого действия и вспомогательные части к ним. Часть 1. Определения и основные требования, общие для всех частей.

ГОСТ 30217-94. Меры индуктивности, взаимной индуктивности и комплексной индуктивности. Общие технические требования.

ГОСТ 7590-93. Приборы аналоговые показывающие электроизмерительные прямого действия и вспомогательные части к ним. Часть 4. Особые требования к частотометрам.

ГОСТ 8311-78. Государственная система обеспечения единства измерений. Осциллографы электронно-лучевые универсальные. Методы и средства поверки.

ГОСТ 8039-93. Приборы аналоговые показывающие электроизмерительные прямого действия и вспомогательные части к ним. Часть 5. Особые требования к фазметрам, измерителям коэффициента мощности и синхроскопам.

ГОСТ 8042-93. Приборы аналоговые показывающие электроизмерительные прямого действия и вспомогательные части к ним. Часть 8. Особые требования к вспомогательным частям.

ГОСТ 8476-78. Ваттметры и варметры. Общие технические условия.

ГОСТ 8476-93. Приборы аналоговые показывающие электроизмерительные прямого действия и вспомогательные части к ним. Часть 3. Особые требования к ваттметрам и варметрам.

ГОСТ 8711-78. Амперметры и вольтметры. Общие технические условия.

ГОСТ 8711-93. Приборы аналоговые показывающие электроизмерительные прямого действия и вспомогательные части к ним. Часть 2. Особые требования к амперметрам и вольтметрам.

ПРИМЕРНЫЙ ТЕМАТИЧЕСКИЙ ПЛАН

Раздел, тема	Количество учебных часов			
	2-36 03 31-01		2-37 01 05 2-53 01 01 2-53 01 05	
	Всего	В том числе на лабораторные занятия	Всего	В том числе на лабораторные занятия
Введение	2		2	
Раздел 1. Основы метрологии	6		6	
1.1. Основные понятия и определения	4		4	
1.2. Погрешности измерений и средства измерений	2		2	
Раздел 2. Методы и средства измерения параметров электрических сигналов и магнитных величин	54	18	64	22
2.1. Измерение напряжения и тока	18	6	18	6
Обязательная контрольная работа № 1	1		1	
2.2. Измерительные генераторы	5		11	4
2.3. Исследование формы и параметров сигнала	12	6	14	6
2.4. Измерение частоты, интервалов времени и сдвига фаз	10	4	12	4
2.5. Измерение мощности и энергии	6	2	6	2
2.6. Измерение магнитных величин	2		2	
Раздел 3. Измерение параметров элементов и компонентов электрических и электронных цепей	16	8	16	8
3.1. Измерение сопротивлений	7	4	7	4
3.2. Измерение параметров конденсаторов и катушек индуктивности	4	2	4	2
Обязательная контрольная работа № 2	1		1	
3.3. Измерение параметров полупроводниковых приборов и интегральных микросхем	4	2	4	2
Раздел 4. Автоматизация измерений	2		2	
Итого	80	26	90	30

СОДЕРЖАНИЕ ПРОГРАММЫ

Цель изучения темы	Содержание темы	Результат
Сформировать представление о целях и задачах учебной дисциплины «Электрические измерения», ее связи с другими дисциплинами специального цикла, значение в системе подготовки специалиста, достижения и основных направлениях развития средств измерений.	ВВЕДЕНИЕ Цели и задачи учебной дисциплины «Электрические измерения», ее связь с другими дисциплинами специального цикла, значение в системе подготовки специалиста, достижения и основных направлениях развития средств измерений.	Называет цели и задачи учебной дисциплины. Высказывает общее суждение о ее значении в системе подготовки специалиста, достижениях и основных направлениях развития средств измерений.
Дать понятие о метрологии, об измерениях физических свойств и величин. Междисциплинарной системе единиц измерений.	РАЗДЕЛ 1. Основы метрологии Тема 1.1. Основные понятия и определения Определение метрологии и измерений. Физические свойства и величины. Единицы физических величин. Основные характеристики измерений: результат измерения, точность измерения, шкала физической величины, объект измерения, шкала физической величины, отсчетная шкала, цена деления шкалы, поверка. Виды измерений: прямые, косвенные, совокупные и совместные. Методы измерений: непосредственной оценки и сравнения с мерой. Средства измерений, их классификация и характеристики.	Раскрывает сущность метрологии и измерений, физические свойства и величины. Описывает единицы физических величин. Иллюстрирует и объясняет основные характеристики, виды и методы измерений. Классифицирует средства измерений, формулирует определения характеристик средств измерений.
Дать понятие о погрешности измерений и погрешности средств измерений.	Тема 1.2. Погрешности измерений и средств измерений Определение и классификация погрешностей измерений; по способу числового выражения, в	Формулирует определение термина «погрешность», иллюстрирует

ЛИТЕРАТУРА

Основная

Атамальян, Э.Г. Приборы и методы измерения электрических величин / Э.Г. Атамальян. М., 1989.

Информационно-измерительная техника и технологии / под ред. Г.Г. Раннева. М., 2002.

Класен, К.Б. Основы измерений. Электронные методы и приборы в измерительной технике / К.Б. Класен. М., 2000.

Котур, В.И. Электрические измерения и электроизмерительные приборы / В.И. Котур, М.А. Скомова, Н.Н. Храмова. М., 1986.

Панфилов, В.А. Электрические измерения / В.А. Панфилов. М., 2012.

Дополнительная

Дворяшнин, Б.В. Основы метрологии и радиоизмерения / Б.В. Дворяшнин. М., 1993.

Елизаров, А.С. Электрорадиоизмерения / А.С. Елизаров. Мясск, 1986.

Метрология и радиоизмерения / под ред. В.И. Нефедова. М., 2003.

Метрология и радиоизмерения в телекоммуникационных системах / под ред. В.И. Нефедова. М., 2001.

Мирский, Г.Я. Электронные измерения / Г.Я. Мирский. М., 1986.

Панфилов, В.А. Электрорадиоизмерения / В.А. Панфилов. М., 2004.

Хромой, Б.П. Электрорадиоизмерения / Б.П. Хромой, Ю.Г. Моисеев. М., 1985.

Электрорадиоизмерения / под ред. А.С. Сигова. М., 2004.

ТЕХНИЧЕСКИЕ НОРМАТИВНЫЕ ПРАВОВЫЕ АКТЫ

ISO 31-5:1992. Параметры и единицы измерения. Часть 5. Электричество и магнетизм.

ГОСТ 10374-93. Приборы аналоговые показывающие электроизмерительные прямого действия и вспомогательные части к ним. Часть 7. Особые требования к многофункциональным приборам.

ГОСТ 13033-84. ГСП. Приборы и средства автоматизации электрических аналоговых. Общие технические условия.

ГОСТ 20906-75. Средства измерений магнитных величин. Термины и определения.

ГОСТ 22261-94. Средства измерений электрических и магнитных величин. Общие технические условия.

ГОСТ 23217-78. Приборы электроизмерительные аналоговые с непосредственным отсчетом. Наносимые условные обозначения

ПРИМЕРНЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ ОСНАЩЕНИЯ КАБИНЕТА И ЛАБОРАТОРИИ

Наименование	Количество
Технические средства обучения	
Технические устройства	
Мультимедийная установка	1
Проектор DVD	1
Телевизор	1
Электронные средства обучения	10
Презентации по темам	
Плакаты по темам	комплект
Средства обучения для проведения лабораторных работ	
Ампервольтметр-испытатель транзисторов	2
Ваттметр	2
Генератор импульсов	2
Генератор низкочастотных сигналов	2
Источник питания	2
Коллимированный прибор	2
Мегаомметр	2
Мост универсальный	2
Универсальный осциллограф	2
Универсальный цифровой вольтметр	2
Электромеханический измерительный прибор	2
Электронно-счетный частотомер	2
Средства защиты	
Аптечка	1
Заземление защитное	1
Огнетушитель углекислотный ОУ-5	1
Оборудование кабинета	
Доска классная	1
Стенд информационный	3
Стул для преподавателя	1
Стул аудиторный	15
Стул	31
Экран проекционный	1
Оборудование лаборатории	
Стенд информационный	3
Стул для преподавателя	1
Стул для учащихся	12
Стул	25
Шкаф	1

* При отсутствии использовать специализированную аудиторно-технических средств обучения.

Цель изучения темы	Содержание темы	Результат
Измерения, классификация погрешностей измерений и погрешностей средств измерений.	Знакомство с источниками возмущения, погрешностям проявления. Классификация погрешностей средств измерений.	описание погрешностей измерений и погрешностей средств измерений.
РАЗДЕЛ 2. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ И МАГНИТНЫХ ВЕЛИЧИН		
Тема 2.1. Измерение напряжения и тока		
Сформировать понятие о форме и амплитуде переменного напряжения. Сформировать понятие о действующем значении. Понимать принцип действия трансформаторных приборов, работающих на принципе взаимной индукции. Понимать принцип действия трансформаторных приборов, работающих на принципе взаимной индукции. Понимать принцип действия трансформаторных приборов, работающих на принципе взаимной индукции.	Основное значение переменного напряжения. Формы переменного напряжения. Структурная схема узла и элементы электрических цепей. Условия обеспечения точности измерений. Назначение конструкции, принцип действия, достоинства и недостатки прибора магнитоиндукционной, электромеханической, динамической и электромеханической систем. Выпрямительные приборы. Назначение, схемы включения и области применения шунтов и добавочных резисторов. Схемы включения, режимы работы измерительных трансформаторов, влияние принципов действия компаратора постоянного тока. Компаратор постоянного тока. Классификация и маркировка электронных приборов. Структурные схемы аналоговых электронных вольтметров. Процесс дискретизации измеряемых величин во времени, квантование по уровню амплитуд и вольтметром.	Описывает форму и параметры переменного напряжения. Объясняет принцип действия трансформаторных приборов, работающих на принципе взаимной индукции. Раскрывает смысл установившихся значений, наносимых на шкалу электромеханических приборов. Описывает и объясняет назначение, схемы включения и области применения шунтов и добавочных резисторов, схемы включения и режимы работы измерительных трансформаторов, влияние принципов действия компаратора постоянного тока. Различает маркировку электронных приборов. Описывает и объясняет структурные схемы аналоговых электронных вольтметром.

Цель изучения темы	Содержание темы	Результат
Сформировать понятие о процессе дискретизации измеряемых величин во времени, квантование по уровню амплитуд, цифровом кодировании. Сформировать знания о структурных схемах, принципе действия электронных цифровых вольтметров, мультиметров. Дать понятие об особенностях измерения тока и напряжения по выделению и высокой частот, средних измерения импульсных напряжений.	Цифровые кодирование. Структурные схемы и принцип действия электронных вольтметров координатного, преамплитудного и частотно-амплитудного типов. Мультиметры. Особенности измерения тока и напряжения по выделению и высокой частот. Измерение импульсных напряжений.	Описывает процесс дискретизации измеряемых величин во времени, квантование по уровню амплитуд и цифровое кодирование. Описывает и объясняет структурные схемы, принцип действия электронных цифровых вольтметров, мультиметров. Объясняет особенности измерения тока и напряжения по выделению и высокой частот. Описывает средства измерения импульсных напряжений.
Научить применять знания об устройстве и принципе действия электромеханических приборов. Сформировать умения рассчитывать характеристики электромеханических приборов, потребности средств измерений и потребности средств измерений, читать условные обозначения, наносимые на шкалу приборов.	Изучение устройства измерительных механизмов различных систем. Расчет характеристик электромеханических приборов, потребности средств измерений и потребности средств измерений, читать условные обозначения, наносимые на шкалу приборов.	Определяет тип и объясняет принцип действия электромеханических механизмов различных систем. Рассчитывает характеристики электромеханических приборов, потребности средств измерений и потребности средств измерений, читать условные обозначения, наносимые на шкалу приборов.
Сформировать умения подготавливать приборы к работе, измерять силу тока.	Изучение техники измерения тока различными приборами.	Выполняет подготовку прибора к работе в соответствии с инструкцией по эксплуатации. Измеряет силу тока.

Отметка о баллах	Показатели оценки
8 (восемь)	основных терминов и определений в области метрологии, методов и средств измерения электрических величин, обоснование и доказательство закономерных связей, формулирование выводов и т. д.); недостаточно самостоятельное выполнение заданий (подготовка приборов к работе, выполнение расчетов и измерений, исследование параметров электрических сигналов и т. д.); наличие единичных несущественных ошибок
9 (девять)	Полное, прочное, глубокое знание и воспроизведение программного учебного материала; оперирование программным учебным материалом в знакомой ситуации (развернутое описание и объяснение, раскрытие сущности понятий и определений в области метрологии, методов и средств измерения электрических величин, обоснование и доказательство закономерных связей, подтверждение аргументации в фактами, формулирование выводов и т. д.); самостоятельное выполнение заданий (подготовка приборов к работе, выполнение расчетов и измерений, исследование параметров электрических сигналов и т. д.); наличие единичных несущественных ошибок
10 (десять)	Полное, прочное, глубокое, системное знание программного учебного материала; оперирование программным учебным материалом в частично измененной ситуации (применение методов и средств измерения электрических величин как на основе известных правил, предписаний, так и поиск нового знания, способов решения учебных задач, выдвижение предположений и гипотез, наличие действий и операций творческого характера для выполнения заданий и т. д.)

Примечание. При отсутствии результатов учебной деятельности обучающихся в утверждении среднего специального образования выставляется «0» (ноль) баллов

Цель изучения темы	Содержание темы	Результат
<p>генератора сигналов низкой частоты.</p> <p>Сформировать умение подготавливать генератор импульсов к работе.</p> <p>Научить применять знания об устройстве, принципе действия, назначении органов управления генератора импульсов.</p>	<p><i>Лабораторная работа № 5</i></p> <p>Изучение органов управления генератора импульсов и подготовка его к работе.</p>	<p>лечения генератора сигналов низкой частоты.</p> <p>Выполняет подготовку генератора импульсов к работе в соответствии с инструкцией по эксплуатации.</p> <p>Объясняет устройство, принцип действия, назначение органов управления генератора импульсов.</p>
Тема 2.3. Исследование формы и параметров сигнала		
<p>Дать представление о классификации и маркировке осциллографов.</p> <p>Сформировать знание упрощенной структурной схемы универсального осциллографа.</p> <p>Дать представление о видах разверток осциллографа.</p> <p>Сформировать знания об устройстве и принципе действия электронно-лучевой трубки.</p> <p>Дать представление о назначении, особенностях конструкции и области применения запоминающих, цифровых, двухканальных, двухлучевых, скоростных и стробоскопических осциллографов.</p> <p>Сформировать знания о методах анализа спектра. Дать представле-</p>	<p>Назначение, классификация и маркировка осциллографов. Упрощенная структурная схема универсального осциллографа. Виды разверток осциллографа. Электронно-лучевая трубка. Запоминающие, цифровые, двухканальные, двухлучевые, скоростные и стробоскопические осциллографы.</p> <p>Анализ спектра сигналов. Измерение коэффициента нелинейных искажений.</p> <p>Регистрирующие приборы.</p>	<p>Различает типы и маркировку осциллографов.</p> <p>Описывает и объясняет упрощенную структурную схему универсального осциллографа.</p> <p>Различает виды разверток осциллографа.</p> <p>Описывает и объясняет устройство и принцип действия электронно-лучевой трубки.</p> <p>Описывает назначение, особенности конструкции и области применения осциллографов различных типов.</p> <p>Описывает методы анализа спектра. Различает цифровые анализаторы спектра и измерители нелинейных искажений.</p>

Цель изучения темы	Содержание темы	Результат
<p>полупроводниковых приборов и интегральных микросхем.</p> <p>Развить навык подготовки приборов к работе.</p> <p>Сформировать умение измерять параметры полупроводниковых приборов.</p>	<p><i>Лабораторная работа № 15</i></p> <p>Измерение параметров полупроводниковых приборов.</p>	<p>полупроводниковых приборов и интегральных микросхем.</p> <p>Выполняет подготовку приборов к работе в соответствии с инструкцией по эксплуатации.</p> <p>Измеряет параметры полупроводниковых приборов.</p>
РАЗДЕЛ 4. АВТОМАТИЗАЦИЯ ИЗМЕРЕНИЙ		
<p>Дать представление об автоматизации измерений, информационно-измерительных системах и информационно-вычислительных комплексах</p>	<p>Общие сведения. Классификация средств измерений по уровню автоматизации: неавтоматические, автоматизированные, автоматические. Информационно-измерительные системы. Информационно-вычислительные комплексы</p>	<p>Высказывает общее суждение об автоматизации измерений, информационно-измерительных системах и информационно-вычислительных комплексах</p>

**ПРИМЕРНЫЕ КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ РЕЗУЛЬТАТОВ
УЧЕБНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ УЧАЩИХСЯ**

Отсчетка и баллов	Показатели оценки
1 (один)	Узнавание отдельных объектов изучения программного учебного материала, предъявленных в готовом виде (понятий и определений в области метрологии, погрешностей измерений и средств измерений, методов и средств измерений электрических величин)
2 (два)	Различение объектов изучения программного учебного материала, предъявленных в готовом виде (понятий и определений в области метрологии, погрешностей измерений и средств измерений, методов и средств измерений электрических величин и т. д.); осуществление соответствующих практических действий
3 (три)	Воспроизведение части программного учебного материала по памяти (фрагментарный пересказ и перечисление понятий и определений в области метрологии, погрешностей измерений и средств измерений, методов и средств измерений и т. д.); осуществление умственных и практических действий по образцу (подготовка приборов к работе, выполнение расчетов и измерений, исследование параметров электрических сигналов и т. д.)
4 (четыре)	Воспроизведение большей части программного учебного материала (описание с элементами объяснения принципа действия и устройства средств измерения, основной терминологии, области применения измерительных приборов и т. д.); применение знаний в знакомой ситуации по образцу (подготовка приборов к работе, выполнение расчетов и измерений, исследование параметров электрических сигналов и т. д.); наличие единичных существенных ошибок
5 (пять)	Осознанное воспроизведение большей части программного учебного материала (описание и объяснение методов и средств измерений электрических величин с объяснением структурных связей и отношений и т. д.); применение знаний в знакомой ситуации по образцу (подготовка приборов к работе, выполнение расчетов и измерений, исследование параметров электрических сигналов и т. д.); наличие несущественных ошибок
6 (шесть)	Полное знание и осознанное воспроизведение всего программного учебного материала; владение программным учебным материалом в знакомой ситуации (описание и объяснение основ метрологии, методов и средств измерения электрических величин, выявление и обоснование закономерных связей и т. д.); выполнение заданий по образцу, на основе предписаний (подготовка приборов к работе, выполнение расчетов и измерений, исследование параметров электрических сигналов и т. д.); наличие несущественных ошибок
7 (семь)	Полное, прочное знание и воспроизведение программного учебного материала; владение программным учебным материалом в знакомой ситуации (развернутое описание и объяснение, раскрытие сущности

Цель изучения темы	Содержание темы	Результат
Закрепить навыки расшифровки условных обозначений, расчета деления шкалы и значений погрешностей. Сформировать умения: готовить приборы к работе, измерять напряжения. Закрепить навыки расшифровки условных обозначений, расчета деления шкалы и значений погрешностей.	<i>Лабораторная работа № 3</i> Изучение техники измерения напряжения различными приборами. Тема 2.2. Измерительные генераторы Общие сведения. Классификация, маркировка и основные параметры измерительных генераторов. Высокочастотные, высокочастотные и сверхвысокочастотные генераторы. Генераторы импульсного действия. Принцип действия и устройство. Генераторы с регулируемой частотой. Генераторы сигналов стандартной формы. Стандарты и сингенераторы частоты. <i>Лабораторная работа № 4</i> Изучение органов управления генератора сигналов низкой частоты и подготовка его к работе.	Рассчитывает условные обозначения. Рассчитывает деления шкалы и значения погрешностей. Выполняет подготовку приборов к работе в соответствии с инструкцией по эксплуатации. Измеряет напряжение. Рассчитывает условные обозначения. Рассчитывает деления шкалы и значения погрешностей. Различает типы и раскрывает смысл маркировки измерительных генераторов. Излагает назначение и принцип действия измерительных генераторов. Описывает и объясняет структурные схемы генераторов различных типов. Выполняет подготовку генератора сигналов низкой частоты к работе в соответствии с инструкцией по эксплуатации. Объясняет устройство, принцип действия, назначение органов управ-

Цель изучения темы	Содержание темы	Результат
<p>Развить навык подготовки приборов к работе.</p> <p>Сформировать умение измерять сопротивление изоляции проводов, кабелей и электрических машин.</p>	<p><i>Лабораторная работа № 12</i></p> <p>Измерение сопротивления изоляции проводов, кабелей и электрических машин.</p>	<p>Выполняет подготовку приборов к работе в соответствии с инструкцией по эксплуатации.</p> <p>Измеряет сопротивление изоляции проводов, кабелей и электрических машин.</p>
<p>Развить навык подготовки приборов к работе.</p> <p>Сформировать умение измерять сопротивление различными приборами.</p>	<p><i>Лабораторная работа № 13</i></p> <p>Измерение сопротивления различными приборами.</p>	<p>Выполняет подготовку приборов к работе в соответствии с инструкцией по эксплуатации.</p> <p>Измеряет сопротивление различными приборами.</p>
Тема 3.2. Измерение параметров конденсаторов и катушек индуктивности		
<p>Сформировать знания о методах и средствах измерения параметров конденсаторов и катушек индуктивности.</p>	<p>Методы и средства измерения параметров конденсаторов и катушек индуктивности.</p>	<p>Описывает методы и средства измерения параметров конденсаторов и катушек индуктивности.</p>
<p>Развить навык подготовки приборов к работе.</p> <p>Сформировать умение измерять параметры конденсаторов и катушек индуктивности.</p>	<p><i>Лабораторная работа № 14</i></p> <p>Измерение параметров конденсаторов и катушек индуктивности.</p>	<p>Выполняет подготовку приборов к работе в соответствии с инструкцией по эксплуатации.</p> <p>Измеряет параметры конденсаторов и катушек индуктивности.</p>
Тема 3.3. Измерение параметров полупроводниковых приборов и интегральных микросхем		
<p>Сформировать знания о методах и средствах измерения параметров</p>	<p>Измерение параметров полупроводниковых приборов и интегральных микросхем.</p>	<p>Описывает и объясняет методы и средства измерения параметров</p>

Цель изучения темы	Содержание темы	Результат
<p>Изучение о цифровых анализаторах спектра и измерителях нелинейных искажений.</p> <p>Дать представление о регистрирующих приборах.</p>		<p>Называет назначение и принцип действия регистрирующих приборов.</p>
<p>Сформировать умение подготавливать универсальный осциллограф к работе.</p> <p>Научить применять знания об устройстве, принципе действия, назначении органов управления универсального осциллографа.</p>	<p><i>Лабораторная работа № 6</i></p> <p>Изучение органов управления универсального осциллографа и подготовка его к работе.</p>	<p>Выполняет подготовку универсального осциллографа к работе в соответствии с инструкцией по эксплуатации.</p> <p>Объясняет устройство, принцип действия, назначение органов управления универсального осциллографа.</p>
<p>Развить умение подготавливать осциллограф к работе.</p> <p>Сформировать умение определять параметры непрерывных сигналов с помощью осциллографа.</p>	<p><i>Лабораторная работа № 7</i></p> <p>Изучение техники измерения параметров непрерывных сигналов с помощью осциллографа.</p>	<p>Выполняет подготовку осциллографа к работе в соответствии с инструкцией по эксплуатации.</p> <p>Измеряет параметры непрерывных сигналов с помощью осциллографа.</p>
<p>Выработать навык подготовки приборов к работе.</p> <p>Сформировать умение определять параметры импульсных сигналов с помощью осциллографа.</p>	<p><i>Лабораторная работа № 8</i></p> <p>Изучение техники измерения импульсных сигналов с помощью осциллографа</p>	<p>Выполняет подготовку приборов к работе в соответствии с инструкцией по эксплуатации.</p> <p>Измеряет параметры импульсных сигналов с помощью осциллографа.</p>

Цель изучения темы	Содержание темы	Результат
<p>Тема 2.4. Измерение частоты, интервалов времени и сдвига фаз</p> <p>Сформировать знания о методах измерения частоты и интервалов времени. Сформировать знания о структурных схемах частотомеров различных типов.</p> <p>Сформировать знания о методах измерения фазового сдвига.</p> <p>Сформировать знания о структурных схемах фазометров различных типов.</p> <p>Развить навык подготовки приборов к работе.</p> <p>Научить измерять частоту с помощью частотомера. Выработать навыки работы с генератором и электронно-счетным частотомером.</p> <p>Развить навык подготовки приборов к работе.</p> <p>Научить применять знания об осциллографических методах измерения фазового сдвига, измерять фазовый сдвиг с помощью осциллографа.</p>	<p>Общие сведения. Осциллографические методы измерения частоты. Структурные схемы и принципы действия приборов для измерения частоты.</p> <p>Электромеханические приборы для измерения коэффициентов мощности и угла сдвига фаз. Осциллографические методы измерения сдвига фаз. Компенсационный метод. Метод преобразования сдвига фаз во временной интервал.</p> <p>Цифровые методы измерения частоты, интервалов времени и сдвига фаз.</p> <p><i>Лабораторная работа № 9</i></p> <p>Измерение частоты сигнала частотомером.</p> <p><i>Лабораторная работа № 10</i></p> <p>Измерение сдвига фаз электронным осциллографом.</p>	<p>Излагает методы измерения частоты. Описывает и объясняет структурные схемы частотомеров различных типов.</p> <p>Излагает методы измерения фазового сдвига. Описывает и объясняет назначение и принцип действия фазометров различных типов.</p> <p>Выполняет подготовку приборов к работе в соответствии с инструкцией по эксплуатации. Измеряет частоту сигнала с помощью частотомера.</p> <p>Выполняет подготовку приборов к работе в соответствии с инструкцией по эксплуатации. Измеряет фазовый сдвиг с помощью осциллографа.</p>

Цель изучения темы	Содержание темы	Результат
<p>Сформировать знания о методах измерения мощности. Сформировать знания о ваттметрах различных типов.</p> <p>Сформировать знания о методах измерения электрической энергии. Дать понятие об электронных счетчиках.</p> <p>Развить навык подготовки приборов к работе.</p> <p>Сформировать умение измерять мощность ваттметром.</p> <p>Дать представление о методах и средствах измерения магнитного потока, магнитной индукции и напряженности магнитного поля.</p> <p>РАЗДЕЛ 3. ИЗМЕРЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕМЕНТОВ И КОМПОНЕНТОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И ЭЛЕКТРОННЫХ ЦЕПЕЙ</p> <p>Сформировать знания о методах и средствах измерения сопротивления, сопротивления заземления и изоляции.</p>	<p>Тема 2.5. Измерение мощности и энергии</p> <p>Общие сведения. Измерение мощности в цепях постоянного тока. Методы измерения активной и реактивной мощности в однофазной и трехфазной цепях переменного тока. Цифровые ваттметры.</p> <p>Измерение активной и реактивной энергии в цепях трехфазного тока. Электронные счетчики.</p> <p><i>Лабораторная работа № 11</i></p> <p>Изучение техники измерения мощности ваттметром.</p> <p>Тема 2.6. Измерение магнитных величин</p> <p>Общие сведения. Измерение магнитного потока. Измерение магнитной индукции и напряженности магнитного поля.</p> <p>Тема 3.1. Измерение сопротивлений</p> <p>Общие сведения. Измерение сопротивления прямыми и косвенными методами. Омметры. Мосты для измерения сопротивления. Особенности измерения сопротивления заземления и изоляции.</p>	<p>Описывает методы измерения мощности, назначение и принцип действия ваттметров различных типов, методы измерения электрической энергии, электронные счетчики.</p> <p>Выполняет подготовку приборов к работе в соответствии с инструкцией по эксплуатации. Измеряет мощность ваттметром.</p> <p>Называет методы измерения магнитного потока, магнитной индукции и напряженности магнитного поля.</p> <p>Описывает методы и средства измерения сопротивления, сопротивления заземления, сопротивления изоляции.</p>

ПЕРЕЧЕНЬ существенных и несущественных ошибок

по дисциплине «Электрические измерения» для специальностей

2-36 03 31 «Монтаж и эксплуатация электрооборудования (по направлениям)» направление специальности 2-36 03 31-01 «Монтаж и эксплуатация электрооборудования (производственная деятельность)»; 2-37 01 05 «Городской электрический транспорт»; 2-51 01 05 «Автоматизированные» электроприводы»;
2-36 04 32 «Электроника механических транспортных средств»

Существенные ошибки:

В изложении теоретического материала:

- затруднения в изложении целей и задач электрических измерений в целом и их составных частей;
- затруднения в стандартном изложении основных терминов и определений в области метрологии;
- ошибки в изложении определений и классификации погрешностей измерений и средств измерений;
- затруднения в объяснении методов и средств измерений напряжения и силы тока;
- затруднения в объяснении принципов работы измерительных генераторов;
- ошибки в анализе классификации и маркировки измерительных генераторов;
- затруднения в объяснении принципов работы приборов для исследования форм и параметров сигналов;
- ошибки в анализе классификации и маркировки осциллографов;
- ошибки в изложении параметров идеального и реального прямоугольных импульсов;
- затруднения в объяснении методов измерения частоты, интервалов времени и фазового сдвига;
- затруднения в изложении принципов измерения электрической мощности;
- ошибки при пояснении сути измерения параметров элементов и компонентов электрических цепей ;
- отсутствие в ответе логичности при изложении средств автоматизации измерений;
- ошибки, свидетельствующие о том, что учащийся не усвоил правила решения задач.

При выполнении лабораторных работ:

несоблюдение нормативно-методических документов при выполнении лабораторных работ;

- ошибки при отражении в отчете назначения и основных характеристик средств измерений;
- нарушение последовательности действий при выполнении лабораторных работ;
- ошибки при отражении в отчете схем измерений;
- неумение проводить измерения электрических величин;
- ошибки в расчетах основных характеристик измерений;
- ошибки в расчетах погрешностей измерений;
- ошибки в преобразовании формул;
- затруднения в оценке полученных результатов;
- затруднения в воспроизведении формул, в оперировании ими и применении к решению задач.

Несущественные ошибки:

В изложении теоретического материала:

- неполное изложение целей и задач электрических измерений;
- неполное изложение терминов и определений в области метрологии;
- неполное перечисление основных характеристик измерений;
- не указание одного из видов или методов электрических измерений;
- не указание одного из средств измерений;
- не указание одного из видов погрешностей измерений;
- неполное изложение методов измерения напряжения и силы тока;
- наличие неточностей при изложении принципов работы средств измерений напряжения и силы тока;
- неполное изложение принципов работы измерительных генераторов;
- не указание одного из измерительных генераторов;
- неполное указание параметров реального импульса;
- неполное изложение принципов работы приборов для исследования форм параметров сигналов;
- неполное указание и изложение методов и приборов для измерения частоты, интервалов времени и фазового сдвига;
- неполное изложение принципов измерения электрической мощности;
- неполное изложение принципов измерения параметров элементов и компонентов электрических цепей;
- наличие недочетов при изложении автоматизации измерений;

- наличие недочетов, опечаток при решении задач.
- нерациональный план устного или письменного ответа;

При выполнении лабораторных работ:

- наличие опечаток (менее 5);
- неточности в оформлении работ;
- применение нерационального способа решения поставленных задач;
- неполное изложение в отчете назначения и основных характеристик средств измерений;
- неумение преобразовывать единицы измерения электрических величин;
- ошибки вычислительного характера, не приводящие к абсурдным результатам;
- неумение оценивать точность отсчета электрических величин;
- небрежное выполнение записей названий и целей работы, таблиц с полученными результатами измерений, выводов, формул и расчетов;
- небрежное выполнение схем и рисунков в отчете.

Преподаватель

В.И. Боровская

Перечень разделов и тем

Раздел 1. Основы метрологии

1.1 Основные понятия и определения

1.2 Погрешности измерений и средств измерений

Раздел 2. Методы и средства измерения параметров электрических сигналов и магнитных величин

2.1 Измерение напряжения и тока

2.2 Измерительные генераторы

2.3 Исследование формы и параметров сигналов

2.4 Измерение частоты, интервалов времени и сдвига фаз

2.5 Измерение мощности и энергии

2.6 Измерение магнитных величин

Раздел 3. Измерение параметров элементов и компонентов электрических и электронных цепей

3.1 Измерение сопротивлений

3.2 Измерение параметров конденсаторов и катушек индуктивности

3.3 Измерение параметров полупроводниковых приборов и интегральных микросхем

Раздел 4. Автоматизация измерений

Теоретический материал

Введение

Установлено, что более чем за четыре тысячелетия до новой эры (Рождества Христова) в Вавилоне и Египте уже проводили астрономические измерения. На протяжении всей истории развития науки и техники перед человеком возникало и возникает множество проблем, для решения которых необходимо располагать количественной информацией о том или ином свойстве объектов материального мира (явлении, процессе, теле, веществе, изделии и пр.). Основным способом получения такой информации являются измерения, при правильном выполнении которых находится результат измерения с большей или меньшей точностью, отражающий интересующие свойства объекта познания.

Измерения играют важнейшую роль в жизни человека и являются начальной ступенью познания. Здесь очень к месту подходит выражение: «Теория без практики — мертва, практика без теории — слепа». Поскольку критерием истины всегда служит практика (эксперимент), результаты измерений очень часто выступают в качестве критерия истины. Измерения делают представления о свойствах окружающего нас мира более полными и понятными. Без преувеличения можно сказать, что прогресс науки и техники определяется степенью совершенства измерений и измерительных приборов. Итак, измерения служат источником нашего научного и практического познания. По этому поводу великий Макс Планк сказал: «В физике существует только то, что можно измерить».

Основы отечественной метрологии заложил русский ученый Д. И. Менделеев (1834 — 1907). Роль и значение измерений Д. И. Менделеев определял так: «В природе мера и вес, суть главное орудие познания. Наука начинается с тех пор, как начинают измерять, точная наука немыслима без меры». Зарождение в нашей стране метрологической службы следует отнести к 1842 г., в котором был издан закон о мерах и весах, предусматривающий создание первого в России метрологического учреждения — Депо образцовых мер. В 1893 г. Д. И. Менделеев основал Главную палату мер и весов, в задачи которой входило не только хранение эталонов и обеспечение поверки по ним средств измерений, но и продление научных исследований в области метрологии.

История развития техники электрических измерений связана с именами русских ученых М.В. Ломоносова и Г.В. Рихмана, которые в 40-х годах XVIII века сконструировали первый в мире электроизмерительный прибор, названный авторами указатель электрической силы.

Во второй половине XVIII — первой половине XIX в. выдающиеся ученые (Вольт, Кулон, Ом, Фарадей и др.) продолжили создание других видов приборов. В частности, закон Ома был открыт при наблюдении взаимодействия провода с током, расположенного рядом с магнитной стрелкой, — прообраза современных приборов магнитоэлектрической системы. С помощью этого устройства М. Фарадей установил закон электромагнитной индукции (1826 — 1831). Во второй половине XIX в. существенный вклад в развитие электроизмерительных приборов внесли русские ученые А.Г. Столетов, Б.С. Якоби и особенно М.О. Доливо-Добровольский, предложивший электромагнитные и ряд других приборов.

Первые измерительные приборы использовались лишь для относительной

оценки физической величины. Такое положение сохранялось до тех пор, пока не были определены электрические меры. Вначале (середина XIX в.) эти меры, созданные отдельными учеными в разных странах, не были одинаковыми. Однако это позволяло все же производить измерения, хотя еще и не в общепринятых единицах, и сделало возможным взаимное сличение этих мер и сравнение результатов опытов.

В 1875 г. по взаимной договоренности на специальной международной конференции с участием России была подписана метрическая конвенция, по которой страны обязались содержать «Международное бюро мер и весов» как центр, обеспечивающий единство измерений в международном масштабе. На международных конгрессах по электричеству (1881 г. — Париж и 1893 г. — Чикаго) была принята применяющаяся и до нашего времени практическая система электрических и магнитных единиц, базирующаяся на международных единицах Ампера и Ома.

Внедрение техники радиотехнических измерений совпало с началом развития систем радиосвязи и радиоэлектроники. Существенное внимание данным вопросам уделял крупнейший русский ученый, изобретатель радио А.С. Попов. Основоположителем отечественной радиоизмерительной техники вне сомнения считается академик М.В. Шулейкин, организовавший в 1913 г. первую заводскую лабораторию по производству радиоизмерительных приборов. Большой вклад в развитие техники электро-радиоизмерений внес академик Л.И. Мандельштам, создавший в начале XX в. прототип современного электронного осциллографа. Многие русские ученые, такие, как М.А. Бонч-Бруевич, В.В. Ширков, Н.Н. Пономарев, В.Г. Дубенецкий и другие, существенно развили теорию и технику радиоизмерений.

В современном обществе метрология как наука об измерениях и область практической деятельности, связанной с измерительной техникой, играет большую роль. Это объясняется тем, что практически нет ни одной сферы человеческой деятельности, где бы не использовались результаты измерений. В нашей стране ежедневно выполняется свыше 20 млрд различных измерений, свыше 4 млн человек считают измерения своей профессией. Доля затрат на измерения составляет $10 \div 15$ % затрат общественного труда, а в отраслях промышленности, производящих сложную технику (электротехника, станкостроение и др.), она достигает $50 \div 70$ %. На основе измерений получают информацию о состоянии производственных, экономических и социальных процессов. Измерительная информация служит основой для принятия решений в научных экспериментах, о качестве продукции при внедрении систем качества и т.д. И только достоверность и соответствующая точность результатов измерений обеспечивают правильность принимаемых решений на всех уровнях управления. Получение недостоверной информации приводит к неверным решениям, снижению качества продукции, возможным авариям.

Качество измерений во многом связано с качеством средств измерений (СИ). Настоящее учебное пособие посвящено изложению изучения основных принципов, методов и средства измерения электрических и радиотехнических величин; научиться метрологически и технически правильно выбирать измерительную аппаратуру; уметь проводить измерения, обрабатывать их результаты и оценивать достигнутую точность; ознакомиться с положениями

«Государственной системы обеспечения единства измерений» и перспективными направлениями и тенденциями развития метрологии и электрических измерений.

Раздел 1. Основы метрологии

Тема 1.1 Основные понятия и определения

Научной основой измерений является метрология. Термин метрология произошел от греческого метро - мера и логос - учение, слово.

В современном понимании это наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах получения требуемой точности.

Измерение - нахождение значения физической величины опытным путем с помощью специальных технических средств.

Под измерениями понимают процесс физического сравнения данной величины с некоторыми ее значением, принятыми за единицу измерения.

Единство измерений - состояние измерения, при которых их результаты выражены в узаконенных единицах, а погрешность известна заданной точностью.

Погрешность измерения - отклонение от результатов измерения от истинного значения измеряемой величины. Чем меньше погрешность, тем точнее измерение.

Точность измерений - качество измерения отражающих близость результата к истинному значению измеряемой величины.

Средство измерения - техническое средство используемое при измерениях и имеющее нормированные метрологические свойства.

Физическая величина. Система Си

Физическая величина - свойство общее в качественном отношении многим физическим объектам, но в количественном отношении индивидуально для каждого из них.

Значение физической величины - оценка физической величины в виде некоторого числа принятых для нее единиц. Различают истинные и действительные значения физической величины.

Истинное значение – значение физической величины, которое идеальным образом отражало бы в качественном и количественном отношении соответствующие свойства объекта.

Действительное значение - значение физической величины, найденное экспериментальным путем и на столько приближенное к истинному, что для данной цели может быть взято вместо его.

Единица физической величины - физическая величина, которая по определению присвоено численное значение равной 1.

Таблица 1.1 Производные единицы электрических и магнитных величин

Величина	Единица	Обозначение		Выражение через другую единицу
		русское	международное	
Работа, энергия, количество теплоты.	джоуль	Дж	J	Н*М
Мощность	Ватт	Вт	W	Дж/с
Количество электричества	Кулон	Кл	C	А*с
Электр.напряжение, разность потенциалов, ЭДС	Вольт	В	V	Вт/А
Напряженность электрического поля	вольт/метр	В/м	V/m	---
Электрическое сопротивление	Ом	Ом	Ω	В/А
Электрическая емкость	фарад	Ф	F	Кл/В
Поток магнитной индукции	Вебер	Вб	Wb	В*с
Индуктивность	Генри	Гн	H	Вб/А
Магнитная индукция	Тесла	Тл	T	Вб/м ²
Напряженность магнитного поля	Ампер на метр	А/м	A/m	---
Магнитодвужущая сила	ампер	A	A	---
Частота	герц	Гц	Hz	с ⁻¹

Таблица 1.2- Множители и приставки для образования десятичных кратных и дольных единиц СИ

Множитель	Приставка	Обозначение приставки	
		международное	русское
10^{18}	Экса	E	Э
10^{15}	Пета	P	П
10^{12}	Тера	T	Т
10^9	Гига	G	Г
10^6	Мега	M	М
10^3	Кило	K	К
10^2	Гекта	N	Г
10^1	Дека	Da	Да
10^{-1}	Деци	D	Д
10^{-2}	Санти	C	С
10^{-3}	Мили	M	М
10^{-6}	Микро		мк
10^{-9}	Нано	n	н
10^{-12}	Пико	p	п
10^{-15}	Фемто	F	Ф
10^{-18}	атто	a	А

Основные характеристики измерений

Основными характеристиками измерений являются:

Принцип измерений – физическое явление или их совокупность, положенные в основу измерений.

Метод измерений – совокупность принципов и средств измерений.

Точность измерений – характеристика измерения, отражающая близость их результатов к истинному значению измеряемой величины. Количественно точность выражается величиной, обратной модулю относительной погрешности.

Достоверность измерений – характеристика качества измерений, разделяющая все результаты на достоверные и недостоверные в зависимости от того, известны или неизвестны вероятностные характеристики их отклонений от истинных значений соответствующих величин.

Правильность измерений – качество измерений, отражающее близость к нулю систематических погрешностей, т. е. погрешностей, которые

остаются постоянными или закономерно изменяются в процессе измерения. Правильность измерений зависит от того, насколько верно (правильно) были выбраны методы и средства измерений.

Результат измерений – значение физической величины, полученное путем ее измерения. По способу выражения результатов измерения подразделяются на:

1) абсолютные, которые основаны на прямых или косвенных измерениях нескольких величин и на использовании констант, и в результате которых получается абсолютное значение величины в соответствующих единицах,

2) относительные, которые не позволяют непосредственно выразить результат в узаконенных единицах, но позволяют найти отношение результата измерения к какой-либо одноименной величине с известным в ряде случаев значением. Например, это может быть относительная влажность, относительное давление, удлинение и т. д.

Объект измерения – реальный физический объект, свойства которого характеризуются одной или несколькими измеряемыми физическими величинами.

Шкала физической величины – упорядоченная последовательность значений физической величины, принятая по результатам точных измерений.

Отметка шкалы – знак на шкале прибора (черточка, точка), соответствующий некоторому значению физической величины. Промежуток между соседними отметками называют делением шкалы.

Цена деления шкалы – разность значений измеряемой величины, соответствующих соседним отметкам шкалы.

Проверка – определение специальным органом метрологической службы метрологических характеристик средства измерения и установление его пригодности к применению по результатам контроля их соответствия предъявляемым требованиям. Основная характеристика, определяемая при проверке прибора, его погрешность.

Виды и методы измерений. Средства измерений

Виды измерений

- прямые
- косвенные
- совокупные
- совместные

Прямые – измеряют результат, который получают непосредственно из опытных данных.

Косвенные - искомое значение физической величины находят на основании известной зависимости между этой величиной и величинами, подвергаемыми прямым измерениям.

При совокупных измерениях одновременно измеряют несколько одноименных величин, а их искомое значение находят решением системы уравнений.

Совместные измерения - одновременно измеряют две или несколько разноименных величин, для нахождения зависимости между ними.

Методы измерений

Методы измерений - способы определения значения физической величины опытным путем с помощью эксперимента.

Методы делятся:

-непосредственной оценки

-сравнение с мерой:

а) противопоставления

б) дифференцированные

в) нулевой

г) замещения

д) совпадения

Непосредственной оценки - измеряемая величина определяется непосредственно по шкале измерительного прибора.

Сравнение с мерой - измеряемая величина сравнивается с известной величиной воспроизводимой мерой.

Противопоставления - измеряемая и воспроизводимые мерой величины одновременно воздействуют на прибор сравнения с помощью которого устанавливают соотношение между ними.

Дифференциальный - на прибор воздействуют разность измеренной величины и величины воспроизводимой мерой.

Нулевой - результирующий эффект воздействия величин на прибор сравнения доводится до нуля.

Замещения - измеряемая величина замещается известной величиной воспроизводимой мерой.

Совпадений - разность между измеряемой величиной и величиной воспроизводимой мерой, определяется по совпадению отметок шкал или периодических сигналов.

Средства измерений

По характеру участия в процессе измерения все средства измерений можно разделить на пять групп:

- 1) меры;
- 2) измерительные преобразователи;
- 3) измерительные приборы;
- 4) измерительные установки;
- 5) измерительные системы (информационно-измерительные системы).

Мера – средство измерений, предназначенное для воспроизведения физической величины данного размера. Например: образцовая катушка сопротивления, гиря, нормальный элемент.

Измерительный преобразователь (ИП) – средство измерений, предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в

форме, удобной для передачи, дальнейшего преобразования, обработки и/или хранения, но не поддающейся непосредственному восприятию наблюдателем.

Измерительный преобразователь не позволяет непосредственно получить результат измерений, а осуществляет преобразование одной физической величины (входной) в другую (выходную). Измерительные преобразователи являются основой для построения более сложных средств измерений: измерительных приборов, измерительных установок, измерительных систем.

Измерительный прибор – это средство измерений, предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме, доступной для непосредственного восприятия наблюдателем.

В отличие от измерительного преобразователя, измерительный прибор всегда имеет устройство, позволяющее человеку воспринимать информацию о числовом значении измеряемой величины.

- По физическим явлениям, положенным в основу работы, измерительные приборы можно разделить на электроизмерительные (электромеханические, электротепловые, электрохимические и др.) и электронные.

1. По назначению их подразделяют на приборы для измерения электрических и неэлектрических (магнитных, тепловых, химических и др.) физических величин.

2. По способу представления результатов их делят на показывающие и регистрирующие.

3. По методу преобразования измеряемой величины – на приборы непосредственной оценки (прямого преобразования) и приборы сравнения.

Действие наиболее распространенных электроизмерительных приборов непосредственной оценки основано на возникновении в процессе измерений вращающего момента и вызванного им поворота подвижной части прибора. Особенности физических процессов, вызывающих появление вращающего момента, определяют деление приборов на магнитоэлектрические, электромагнитные, электродинамические и др.

Приборы сравнения предназначены для непосредственного сравнения измеряемой величины с величиной, значение которой известно (с мерой). Приборы сравнения могут работать в двух режимах: в равновесном режиме и в неравновесном режиме.

Измерительная установка – совокупность функционально объединенных средств измерений и вспомогательных устройств, предназначенная для выработки сигнала измерительной информации в форме, удобной для непосредственного восприятия наблюдателем и расположенная в одном месте. Например, поверочные установки, установки для испытаний электротехнических, магнитных и других материалов, лабораторные установки для исследования характеристик электродвигателей, стенды для поверки электрических счётчиков и т.п.

Измерительная установка позволяет предусмотреть определённый метод измерения и заранее оценить погрешность измерения. Отличие

измерительной установки от измерительной системы заключается в её локальности, компактности размещения.

Измерительная система (ИС) – совокупность средств измерений и вспомогательных устройств, соединённых между собой каналами связи, предназначенная для выработки сигналов измерительной информации в форме, удобной для автоматической обработки, хранения, передачи и (или) использования в автоматических системах управления. Например, многоканальный пространственно распределённый информационно-измерительный комплекс в составе системы управления производством.

Частными случаями измерительных систем являются измерительно-вычислительные комплексы (ИВК) и информационно-измерительные системы (ИИС). К последним относятся системы автоматического контроля, системы технической диагностики, системы распознавания образов и др.

Измерительные системы – это наиболее современные и сложные средства измерений. Очевидно, что различные типы средств измерений и их конкретные экземпляры отличаются друг от друга по свойствам. В связи с этим возможности и качество средств измерений определяются совокупностью ряда характеристик.

Тема 1.2 Погрешности измерений и средств измерений

Классификация погрешностей измерений

При любой степени совершенства и точности измерительной аппаратуры, рационально спланированной методике измерений, тщательности выполнения измерительных операций результат измерений отличается от истинного значения физической величины. Иначе говоря, при всяком измерении неизбежны обусловленные разнообразными причинами отклонения результата измерения (x) от истинного значения измеряемой величины (X). Эти отклонения называют погрешностями измерений.

$$\Delta = A - X \quad (1)$$

Это соотношение служит исходным для теоретического анализа погрешностей. На практике же из-за невозможности определить истинное значение вместо него берут действительное значение измеряемой величины, например, среднеарифметическое результатов наблюдений при измерениях с многократными наблюдениями.

Истинным называется значение ФВ (физической величины), идеальным образом характеризующее свойство данного объекта, как в количественном, так и качественном отношении. Оно не зависит от средств нашего познания и является той абсолютной истиной, к которой мы стремимся, пытаясь выразить её в виде числовых значений.

Действительным называется значение ФВ, найденное экспериментально и настолько близкое к истинному, что в поставленной измерительной задаче оно может быть использовано вместо него. Погрешность измерений иногда удобно характеризовать ее относительным значением:

$$\delta = \Delta / x * 100 \% \quad (2)$$

Следует также различать погрешность результата измерения и погрешность средства измерений (СИ). Эти два понятия во многом близки друг к другу и классифицируются по одинаковым признакам.

Погрешность средства измерений – разность между показанием СИ и истинным (действительным) значением измеряемой ФВ. Она характеризует точность средства измерений (характеристику качества СИ, отражающую близость его погрешности к нулю).

Величину, обратную относительной погрешности, называют точностью:

$$T = 1 / \delta = x / \Delta \quad (3)$$

Чем выше точность, тем с меньшей погрешностью произведено измерение. Обычно понятие точности используют для сравнительной характеристики различных измерений или средств измерений. Правильное

количественное представление о качестве измерений получают путем указания погрешности или точности. Соответствующие формулировки будут:

- 1) с погрешностью до 1 мВ;
- 2) с относительной погрешностью до 0,1%;
- 3) с точностью 1000.

Точность 1000 соответствует относительной погрешности 0,1%, точность 25 – относительной погрешности 4%.

Чтобы правильно оценивать погрешность, следует ясно представлять ее происхождение, понимать, к какому виду относится данная составляющая погрешности измерений. Это диктует необходимость рассмотрения классификации погрешностей. Их можно классифицировать по многим признакам, но мы постараемся сделать это наиболее полным образом.

По характеру проявления погрешности делятся на случайные, систематические, прогрессирующие и промахи, или грубые погрешности.

Случайная погрешность – составляющая погрешности измерения, изменяющаяся случайным образом (по знаку и значению) в серии повторных измерений одного и того же размера физической величины, проведенных с одинаковой тщательностью в одних и тех же условиях. В появлении таких погрешностей, изображенных на рис. 1.1(а), не наблюдается какой-либо закономерности, они обнаруживаются при повторных измерениях одной и той же величины в виде некоторого разброса получаемых результатов. Случайные погрешности неизбежны, неустранимы и всегда присутствуют в результате измерения, однако их можно существенно уменьшить, увеличив число наблюдений.

Систематическая погрешность – составляющая погрешности измерения, остающаяся постоянной или закономерно меняющаяся при повторных измерениях одной и той же физической величины. Постоянная и переменная систематические погрешности показаны на рис.1.1(б). Их отличительный признак заключается в том, что они могут быть предсказаны, обнаружены и благодаря этому почти полностью устранены введением соответствующей поправки.

Прогрессирующая (дрейфовая) погрешность – это непредсказуемая погрешность, медленно меняющаяся во времени. Прогрессирующие погрешности могут быть скорректированы поправками только в данный момент времени, а далее вновь непредсказуемо изменяются. Их изменение во времени представляет собой нестационарный случайный процесс, поэтому в рамках хорошо разработанной теории стационарных случайных процессов они могут быть описаны лишь с известными оговорками.

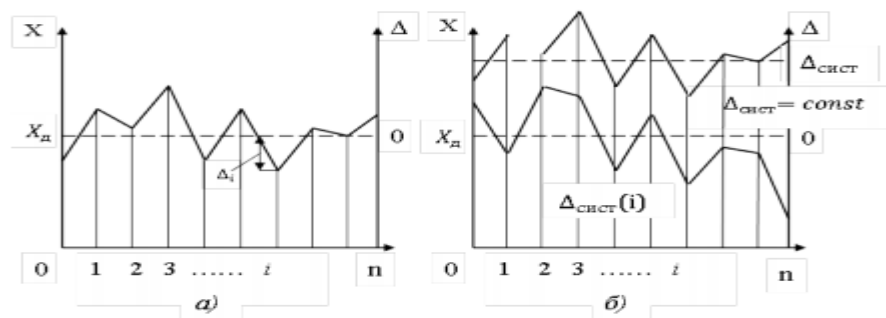


Рисунок 1.1 - Изменение: а – случайной, б – постоянной и переменной систематических погрешностей

Прогрессирующая погрешность – это понятие, специфичное для нестационарного случайного процесса изменения погрешности во времени, оно не может быть сведено к понятиям случайной и систематической погрешностей.

По способу выражения разделяют абсолютные, относительные и приведенные погрешности. Алгебраическую разность измеряемого значения величины x и действительного ее значения A называют абсолютной погрешностью измерения Δ :

$$\Delta = A - X$$

Отношение абсолютной погрешности к действительному значению измеряемой величины (безразмерная величина), выраженное в относительных единицах или процентах, называют относительной погрешностью:

$$\delta = \Delta / X \text{ или } \delta = \Delta / X * 100 \% \quad (4)$$

Отношение абсолютной погрешности к максимальному возможному значению измеряемой величины a_m (например, к верхнему пределу измерений прибора или к диапазону измерений) называется приведенной погрешностью γ пр :

$$\gamma_{\text{пр}} = (A - X) / X_N * 100 = \Delta / X_N * 100 \% \quad (5)$$

В зависимости от причин возникновения различают инструментальные погрешности измерения, погрешности метода измерений, погрешности из-за изменения условий измерения и субъективные погрешности измерения.

Инструментальная погрешность измерения обусловлена погрешностью применяемого СИ. Иногда эту погрешность называют аппаратурной.

Погрешность метода измерений – составляющая систематической погрешности измерений из-за несовершенства принятого метода измерений, эта погрешность обусловлена:

- отличием принятой модели объекта измерения от модели, адекватно описывающей его свойство, которое определяется путем измерения;
- влиянием способов применения СИ. Это имеет место, например, при измерении напряжения вольтметром с конечным значением внутреннего сопротивления. В таком случае вольтметр шунтирует участок цепи, на котором измеряется напряжение, и оно оказывается меньше, чем было до присоединения вольтметра;
- влиянием алгоритмов (формул), по которым производятся вычисления результатов измерений. Вследствие упрощений, принятых в уравнениях для измерений, нередко возникают существенные погрешности, для компенсации действия которых следует вводить поправки. Иногда погрешность метода называют теоретической погрешностью;
- влиянием других факторов, не связанных со свойствами используемых СИ.

Отличительной особенностью погрешностей метода является то, что они не могут быть указаны в документации на используемое СИ, поскольку от него не зависят; их должен определять оператор в каждом конкретном случае. В связи с этим оператор должен четко различать фактически измеряемую им величину и величину, подлежащую измерению. Иногда погрешность метода может проявляться как случайная.

Погрешность (измерения) из-за изменения условий измерения – это составляющая систематической погрешности измерения, являющаяся следствием неучтенного влияния отклонения в одну сторону какого-либо из параметров, характеризующих условия измерений, от установленного значения. Этот термин применяют в случае неучтенного или недостаточно учтенного действия той или иной влияющей величины (температуры, атмосферного давления, влажности воздуха, напряженности магнитного поля, вибрации и др.); неправильной установки средств измерений, нарушения правил их взаимного расположения и др.

Субъективная (личная) погрешность измерения обусловлена погрешностью отсчета оператором показаний по шкалам СИ, диаграммам регистрирующих приборов. Она вызвана состоянием оператора, его положением во время работы, несовершенством органов чувств, эргономическими свойствами СИ.

Классификация погрешностей средств измерений

По зависимости абсолютной погрешности от значений измеряемой величины различают погрешности: аддитивные Δ_A , не зависящие от измеряемой величины; мультипликативные Δ_M , которые прямо пропорциональны измеряемой величине, и нелинейные Δ_N , имеющие нелинейную зависимость от измеряемой величины. Эти погрешности

применяют в основном для описания метрологических характеристик средств измерений. Такое их разделение весьма существенно при решении вопроса о нормировании и математическом описании погрешностей СИ.

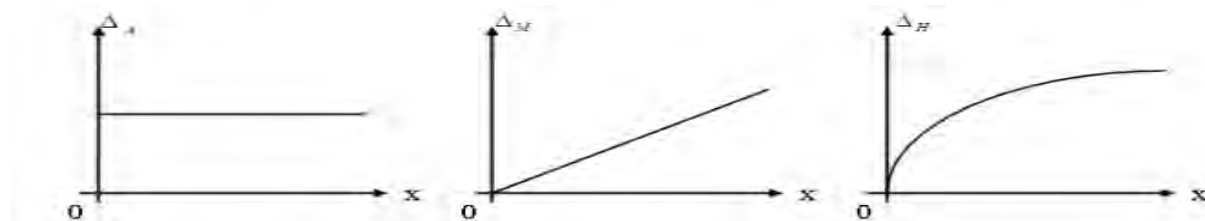


Рисунок 1.2 – Виды погрешностей

По влиянию внешних условий различают основную и дополнительную погрешности средств измерений.

Основная погрешность средства измерений – погрешность СИ, применяемого в нормальных условиях. Для каждого средства оговариваются условия эксплуатации, при которых нормируется его погрешность. По способу числового выражения основная погрешность может быть представлена в виде абсолютной, относительной, приведенной погрешностей.

Дополнительная погрешность средства измерений – составляющая погрешности СИ, возникающая дополнительно к основной погрешности, вследствие отклонения какой-либо из влияющих величин от нормального ее значения или вследствие ее выхода за пределы нормальной области значений.

В зависимости от влияния характера изменения измеряемых величин погрешности СИ делят на статические и динамические.

Статической называется погрешность средства измерений, применяемого для измерения ФВ, принимаемой за неизменную.

Динамической называется погрешность СИ, возникающая дополнительно при измерении изменяющейся (в процессе измерений) ФВ. Динамическая погрешность СИ обусловлена несоответствием его реакции на скорость (частоту) изменения измеряемого сигнала.

Если измерения с многогранными наблюдениями провести через некоторое время, в течение которого среднее значение успеет существенно измениться, то погрешность примет новое значение, например θ_2 . Таким образом, при проведении измерений, разделенных большими интервалами времени, проявляется изменчивость погрешности $\theta(t)$.

Отклонения параметров средств измерений от их номинальных значений, вызывающие погрешность измерений, не могут быть указаны однозначно, поэтому для них должны быть установлены предельно допускаемые значения. Указанное нормирование является гарантией взаимозаменяемости средств измерений.

Нормирование погрешностей средств измерений заключается в установлении предела допускаемой погрешности. Под этим пределом

понимается наибольшая (без учёта знака) погрешность средства измерения, при которой оно может быть признано годным и допущено к применению.

Пределы допускаемой основной погрешности, определяемые классом точности, это интервал, в котором находится значение основной погрешности СИ. Классы точности СИ устанавливаются в стандартах или технических условиях. Средство измерения может иметь два и более класса точности. Например, при наличии у него двух или более диапазонов измерений одной и той же физической величины ему можно присваивать два или более класса точности. Приборы, предназначенные для измерения нескольких физических величин, также могут иметь различные классы точности для каждой измеряемой величины.

Пределы допускаемых основной и дополнительной погрешностей, выражают в форме приведенных, относительных или абсолютных погрешностей. Выбор формы представления зависит от характера изменения погрешностей в пределах диапазона измерений, а также от условий применения и назначения СИ.

Раздел 2 Методы и средства измерения параметров электрических сигналов и магнитных величин

Тема 2.1 Измерение напряжения и тока

2.1.1 Основные значения переменного и напряжения. Формы сигналов

В практике электрических измерений измерение напряжения является распространенной операцией. При этом определяются разность потенциалов

или падение напряжения на участке электрической цепи (на её элементе). В качестве единицы напряжения принимается вольт (В). Целью измерения постоянного напряжения является определение его значения и знака полярности. При измерении переменного напряжения определяется какой-либо его параметр (амплитудное, среднее, среднеквадратическое или средневывпрямленное значения). Большой интервал (от 10^{-9} до 10^4 В) и широкий диапазон частот (от нулевых до сверхвысоких частот), измеряемых напряжений, малая мощность источников напряжения, а также высокая точность измерения привели к необходимости использования большого количества методов и средств измерения.

Несмотря на кажущуюся простоту измерения напряжения, существует ряд моментов, на которые на практике необходимо обратить внимание. Так, в частности, следует учитывать шунтирующие действие вольтметра при измерении как постоянных, так и переменных напряжений. Более того, при измерении переменных напряжений необходимо учитывать реактивную составляющую входного сопротивления вольтметра, влияние которого на результат растёт с ростом частоты сигнала.

При измерении параметров переменных напряжений необходимо учитывать конструктивные особенности вольтметра. В вольтметрах переменного тока осуществляется преобразование переменного напряжения в постоянное, соответствующее одному из его параметров. Однако, все вольтметры переменного тока, за исключением импульсных, градуируются в среднеквадратических значениях напряжения синусоидальной формы.

Таким образом, в вольтметрах переменного тока показываемый параметр переменного напряжения (среднеквадратическое значение) в общем случае не соответствует измеряемому параметру. Это имеет существенное значение при измерениях напряжений, форма которых отлична от синусоидальной. Для определения значения требуемого параметра переменного напряжения необходимо в общем случае знать вид преобразователя вольтметра, форму измеряемого напряжения, а также тип входа вольтметра (открытый или закрытый). Пренебрежение этой информацией приводит, как правило, к существенным погрешностям результата измерения.

В зависимости от характера изменений напряжения во времени различают постоянное и переменное напряжение. В свою очередь, переменное напряжение можно разделить на периодическое и непериодическое. Для периодически изменяющегося напряжения его форма может быть произвольна. Обычно на практике измеряют постоянное напряжение и параметры переменного напряжения. Такими параметрами являются: амплитудное, среднее, средневывпрямленное и среднеквадратическое значения напряжения.

Амплитудное (пиковое) значение U_m - наибольшее мгновенное значение напряжения $U(t)$ за время измерения T . Если сигнал несимметричный, то различают положительное $+U_m$ (максимальное) и отрицательное $-U_m$ (минимальное) значения.

Среднее значение U_{cp} - среднее за время измерения значение напряжения, которое определяется выражением

$$u_{cp} = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) dt. \quad (6)$$

Среднее значение, по существу, является постоянной составляющей сигнала за время T .

Средневыпрямленное значение $U_{cp.v.}$ - среднее за время измерения T значение модуля напряжения:

$$u_{cp.v.} = \frac{1}{T} \int_0^T |u(t)| dt. \quad (7)$$

Среднеквадратическое значение U - корень квадратный из среднего за время измерения квадрата напряжения:

$$u = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt}. \quad (8)$$

Квадрат среднеквадратического значения напряжения можно представить как значение средней мощности, рассеиваемой на сопротивлении 1 Ом.

Из спектрального представления сигналов известно, что квадрат среднеквадратического значения периодического напряжения несинусоидальной формы равен сумме квадратов среднеквадратических значений U^2 всех гармоник, включая постоянную составляющую:

$$u^2 = u_{cp}^2 + u_1^2 + u_2^2 + \dots. \quad (9)$$

Таким образом, среднеквадратическое значение периодического напряжения несинусоидальной формы не зависит от фазовых соотношений между гармоническими составляющими.

Связь между амплитудным, средним, средневыпрямленным и среднеквадратическим значениями устанавливается через коэффициент амплитуды k_a и коэффициент формы сигнала k_f . Значения коэффициентов k_a и k_f зависят от формы сигнала. Коэффициент амплитуды определяется отношением амплитудного значения напряжения к среднеквадратическому значению:

$$k_a = u_m / u. \quad (10)$$

коэффициент формы определяется отношением среднеквадратического значения напряжения к средневыпрямленному:

$$k_f = u / u_{cp.v.} \quad (11)$$

Следовательно, зная коэффициенты k_a , k_ϕ од но из значений напряжения, можно определить другие значения. Значения коэффициентов удовлетворяют следующему неравенству:

$$1 \leq k_\phi \leq k_a. \quad (12)$$

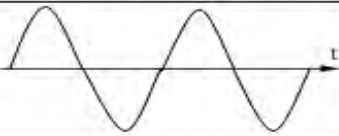
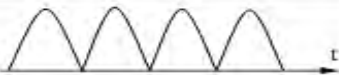


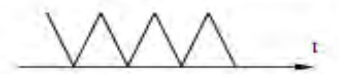
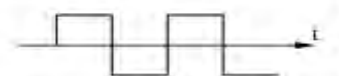
Значения коэффициентов k_a и k_ϕ для различных наиболее употребляемых сигналов представлены в табл. 2.1. Иногда используется коэффициент усреднения k_y , определяемы отношением амплитудного значения напряжения к среднемувыпрямленному:

$$k_y = u_m / u_{ср.в.} \quad (13)$$

Измерения постоянного тока и напряжения производятся с помощью приборов магнитоэлектрической, электромагнитной, электродинамической систем, напряжение измеряется также электростатическими и электронными вольтметрами. Кроме этого, для более точных измерений используются компенсаторы постоянного тока.

Магнитоэлектрические измерительные механизмы непосредственно являются микро- и миллиамперметрами или милливольтметрами, а в сочетании с шунтами и добавочными сопротивлениями – соответственно амперметрами и вольтметрами.

Таблица 2.1

Форма сигнала	График	Коэффициент	
		K_a	K_ϕ
Синусоидальная		1,41	1,1
Пульсирующая (двухполупериодный выпрямитель)		1,41	1,11
Пульсирующая (однополупериодный выпрямитель)		2	1,57
Пилообразная		1,73	1,16
Треугольная (симметричная)		1,73	1,16
Прямоугольная (меандр)		1	1

2.1.2 Структурная схема, узлы и элементы электромеханических измерительных приборов (ЭМИП)

Электроизмерительные приборы — класс устройств, применяемых для измерения различных электрических величин. В группу электроизмерительных приборов входят также кроме собственно измерительных приборов и другие средства измерений — меры, преобразователи, комплексные установки.

Наиболее существенным признаком для классификации электроизмерительной аппаратуры является измеряемая или воспроизводимая физическая величина, в соответствии с этим приборы подразделяются на ряд видов:

- амперметры — для измерения силы электрического тока;
- вольтметры — для измерения электрического напряжения;
- омметры — для измерения электрического сопротивления;
- мультиметры (иначе тестеры) — комбинированные приборы
- частотомеры — для измерения частоты колебаний электрического тока;
- магазины сопротивлений — для воспроизведения заданных сопротивлений;
- ваттметры и варметры — для измерения мощности электрического тока;
- электрические счётчики — для измерения потреблённой электроэнергии и множество других видов.

По назначению — измерительные приборы, меры, измерительные преобразователи, измерительные установки и системы, вспомогательные устройства.

По способу представления результатов измерений — показывающие и регистрирующие (в виде графика на бумаге или фотоплёнке, распечатки, либо в электронном виде).

По методу измерения — приборы непосредственной оценки и приборы сравнения.

По способу применения и по конструкции — щитовые (закрепляемые на щите или панели), переносные и стационарные.

По принципу действия: магнитоэлектрические, электромагнитные; электродинамические; электростатические; ферродинамические; индукционные; электронные; термоэлектрические; электрохимические.

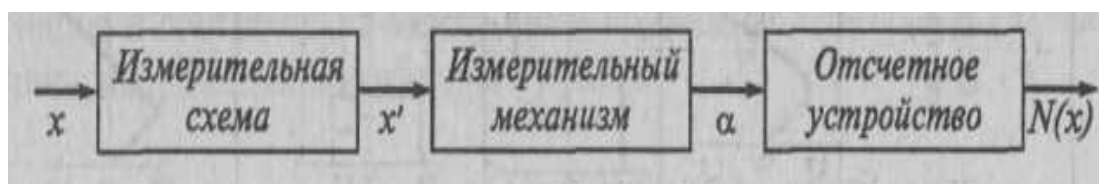


Рисунок 2.1 – Упрощенная схема электроизмерительных приборов

Измерительная схема осуществляет количественное или качественное преобразование входной величины x в электрическую величину x' , на которую

реагирует измерительный механизм. Последний, в свою очередь, преобразует электрическую величину x в механическое угловое или линейное перемещение a , значение которого отражается по шкале отсчетного устройства, проградуированной в единицах измеряемой величины $N(x)$.

Основные элементы электромеханических приборов

1) **Отсчетное устройство** измерительного прибора (аналогового или цифрового), частью прибора, предназначенная для отсчитывания его показаний. О. у. аналогового прибора обычно состоит из шкалы и указателя, причём подвижным может быть либо указатель, либо шкала. По типу указателя О. у. подразделяются на стрелочные и световые. В стрелочных О. у. стрелка своим концом перемещается относительно отметок шкалы. Конец стрелки может быть копьевидным или выполненным в виде ножа или натянутой нити (рис. 2.2, (3)). В последних двух случаях шкалы снабжаются зеркалом для устранения погрешности отсчёта, вызванной параллаксом. В световых О. у. роль стрелки выполняет световой луч, отражённый от зеркала, скрепленного с подвижной частью прибора (рис. 2.2, б). От положения последней зависит положение светового изображения на шкале, по которому отсчитывают показания. Световое О. у. позволяет устранить погрешность от параллакса и повысить чувствительность прибора за счёт увеличения длины указателя и удвоения угла его поворота.

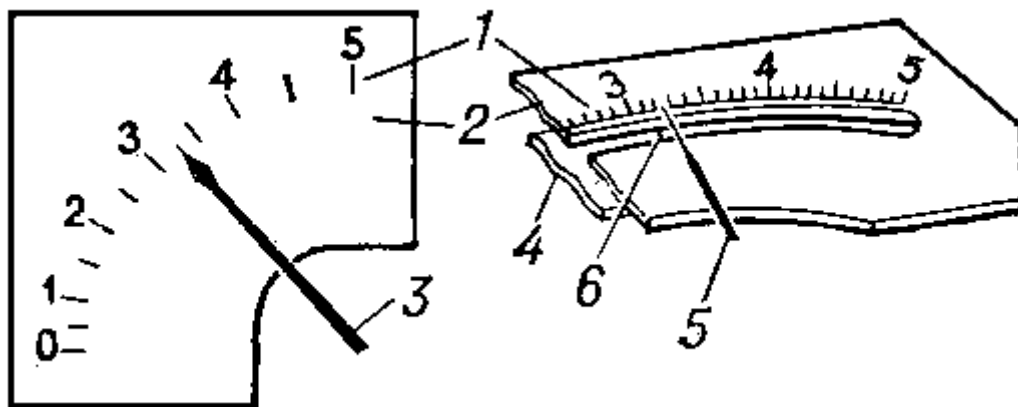


Рисунок 2.2 - Примеры стрелочных отсчётных устройств (а — щитовой прибор; б — переносный прибор): 1 — шкала; 2 — основание шкалы (пластина); 3 — копьевидная стрелка; 4 — зеркало; 5 — ножевидная стрелка; 6 — изображение стрелки в зеркале, которое при отсчёте показаний должно быть совмещено со стрелкой

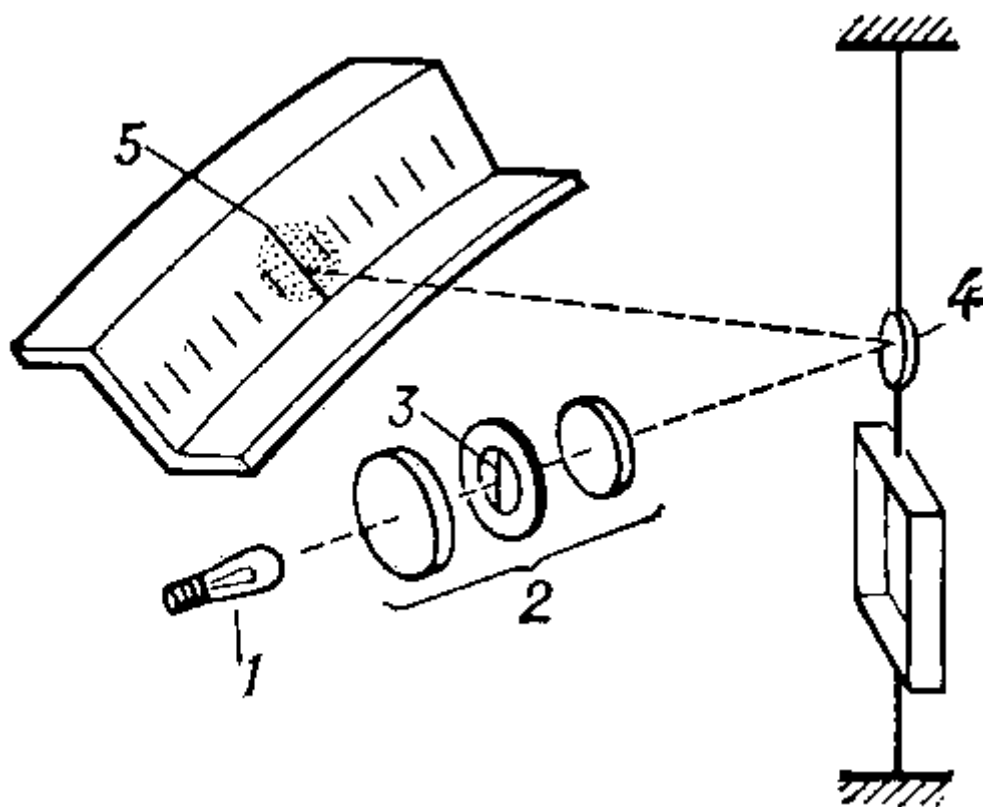


Рисунок 2.3 - Световое отсчётное устройство: 1 — источник света; 2 — оптическое устройство, содержащее нить или «копье» 3; 4 — зеркало, укрепленное на подвижной части измерительного механизма; 5 — шкала спроектируемым на неё изображением нити

Шкалы могут быть:

- равномерные, неравномерные
- нормируемые, ненормируемые.

2) Устройства для создания противодействующего момента

Принцип работы большинства электроизмерительных стрелочных приборов основан на повороте подвижной их части под действием вращающегося момента. Последний создается током, связанным определенной зависимостью с измеряемой электрической величиной.

Если этому повороту ничем не противодействовать, то подвижная часть прибора либо повернется на наибольший возможный угол, либо придет в ускоренное движение.

Противодействующий момент у большинства приборов создается закручивающейся упругой бронзовой пружиной 1 (рис. 2.4), концы которой прикреплены один — к оси подвижной части прибора 2, а другой — к неподвижной части прибора (к вилке пружинно держателя) 3. Очевидно,

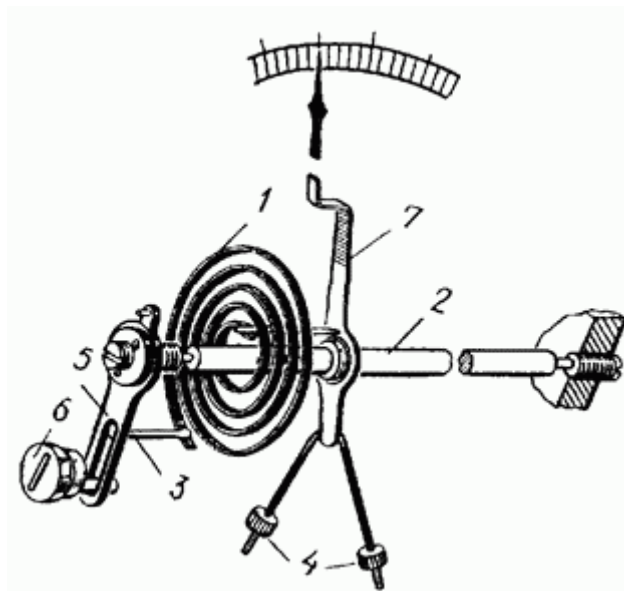


Рисунок 2.4 - Принцип работы большинства электроизмерительных стрелочных приборов

что, чем больше ток, проходящий через прибор, тем больше вращающий момент, действующий на подвижную часть прибора. Под действием этого вращающего момента подвижная часть прибора поворачивается, закручивая спиральную пружину. Пружина, в свою очередь, препятствует этому повороту. Поворот будет происходить до тех пор, пока вращающий и противодействующий моменты не сравняются. Кроме того, спиральная пружина возвращает подвижную часть прибора в первоначальное (нулевое) положение после того, как прибор выключен из цепи.

Для уравнивания стрелки прибора иногда применяют грузики 4 (противовесы), навинченные на стержни с мелкой резьбой, посредством которой можно изменять расстояние грузиков от оси вращения.

Для установки стрелки прибора против нулевого деления служит корректор, состоящий из поводка 5 и винта 6. Эксцентрично поворачивающийся выступ винта 6 изменяет положение пружинно-держателя 3 и одного конца спиральной пружины 1, поворачивая тем самым стрелку 7 в нужную сторону. У многих приборов по две противодействующих пружины. Они помещаются либо рядом, либо у концов оси подвижной системы.

3) Устройства для создания успокаивающего момента (успокоители). Подвижную часть прибора с противодействующей спиральной пружиной можно рассматривать как некоторую колебательную систему. В самом деле, при включении прибора в цепь подвижная его часть под действием толчка, создаваемого быстро нарастающим вращающим моментом, поворачивается, но не сразу может остановиться в положении, в котором вращающий и противодействующий моменты равны (подобно тому, как маятник не в состоянии остановиться, проходя через положение равновесия). Подвижная часть прибора будет

совершать затухающие колебания, и для снятия показаний необходимо некоторое время для полной остановки его стрелки.

Для быстрой остановки подвижной части прибора применяют специальные устройства — успокоители. Наиболее распространенными успокоителями являются воздушные, магнитоиндукционные, жидкостные

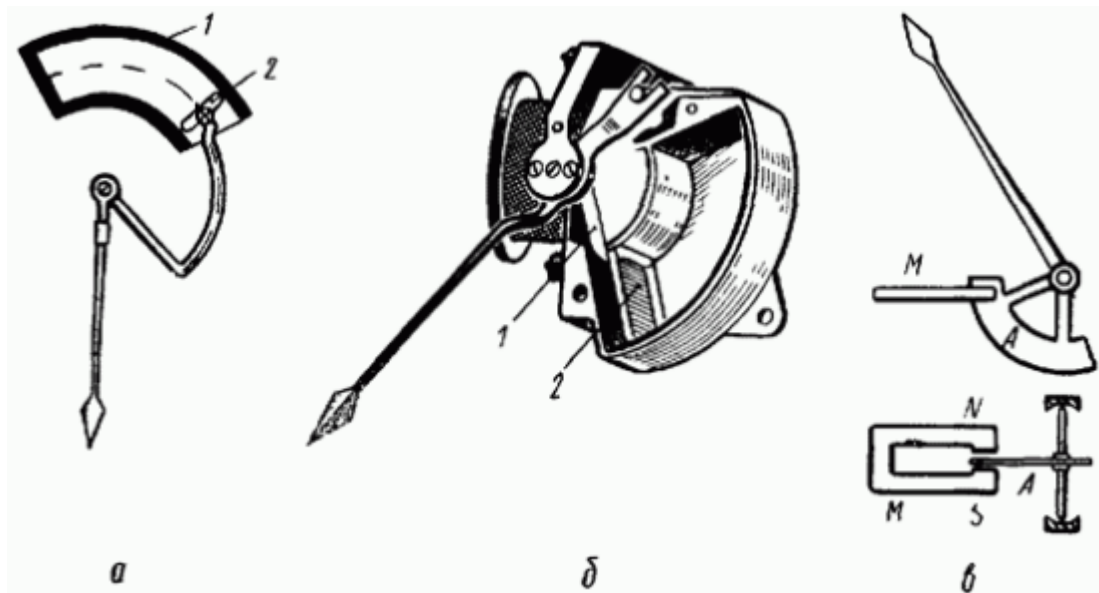


Рисунок 2.5 - Воздушный успокоитель

Воздушный успокоитель представляет собой дугообразный цилиндр 1 (рис. 2.5, а), запаянный с одного конца. Внутри цилиндра находится поршень 2. Он жестко связан с подвижной частью прибора и не касается стенок цилиндра. Зазор между поршнем и цилиндром невелик и при быстрых перемещениях поршня давление внутри цилиндра не успевает выровняться с атмосферным. В цилиндре создаются то сгущения, то разрежения воздуха, которые препятствуют движению поршня и тем самым быстро успокаивают подвижную систему. При медленном же движении поршня часть воздуха может свободно входить в цилиндр и выходить из него через зазор, не препятствуя поворотам подвижной части прибора.

Иногда воздушный успокоитель имеет форму замкнутой коробочки со щелью (рис. 2.5, б). Эта щель служит для перемещения рычага 1, на котором укреплена пластинка 2. Последняя не касается стенок коробочки и выполняет ту же роль, что и поршень. При движении пластинки в коробочке одновременно действуют и сгущения (по одну сторону пластинки) и разрежения (по другую сторону), препятствующие колебаниям.

Магнитоиндукционный успокоитель представляет собой перемещающуюся между полюсами постоянного магнита М (рис. 2.5, в) легкую алюминиевую пластину А, жестко связанную с подвижной системой прибора. При колебаниях пластинки в магнитном поле постоянного магнита в соответствии с законом Ленца в ней индуцируются токи, препятствующие этим колебаниям, поэтому колебания подвижной системы и стрелки быстро прекращаются.

Действие одного из **жидкостных успокоителей** поясняет рис. 2.6, где показаны два металлических диска, а между ними в зазоре около 0,1 мм находится вязкая жидкость 2, которая не выливается в любом положении. Диск 1 укреплен на подвижной, а диск 3 на неподвижной части прибора. Взаимному движению дисков препятствуют силы сцепления жидкости с дисками

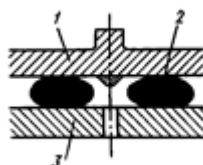


Рисунок 2.6 - Действие одного из жидкостных успокоителей

Условные обозначения на шкалах электроизмерительных приборов. Для правильного выбора приборов и их эксплуатации согласно ГОСТу 2.729-68 на шкалах изображают следующие обозначения:





1) Условное обозначение единицы измерения (или измеряемой величины) либо начальные буквы наименования прибора (табл. 2.2).

Таблица 2.2 - Условное обозначение единиц измерения

Род измеряемой величины	Название прибора	Условное обозначение
Ток	Амперметр	A
	Миллиамперметр	mA
	Микроамперметр	μA
Напряжение	Вольтметр	V
	Милливольтметр	mV
Электрическая мощность	Ваттметр	W
	Киловаттметр	kW
Электрическая энергия	Счетчик киловатт-часов	kWh
Сдвиг фаз	Фазометр	φ
Частота	Частотомер	Hz
Электрическое сопротивление	Омметр	Ω
	Мегомметр	M Ω

2) Условное обозначение системы прибора (табл. 2.3).

Таблица 2.3

Система прибора	Условное обозначение
Магнитоэлектрическая: с подвижной рамкой и механической противодействующей силой	
с подвижными рамками, без механической противодействующей силы (логометр)	
Электромагнитная: с механической противодействующей силой	
Электродинамическая (без экрана): с механической противодействующей силой	

3) Условные обозначения рода тока и числа фаз, класса точности прибора, испытательного напряжения изоляции, категории прибора по степени защищенности от внешних магнитных полей.

Таблица 2.4
























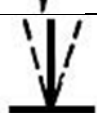
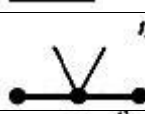
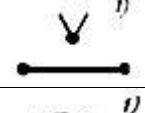

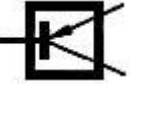

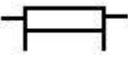
Условное обозначение (ГОСТ 1845—59)	Расшифровка условного обозначения
	Прибор постоянного тока
	Прибор постоянного и переменного токов
	Прибор переменного тока
	Трехфазный прибор
	Прибор класса точности 1,5
	Измерительная цепь изолирована от корпуса и испытана напряжением 2 кВ
	Осторожно! Прочность изоляции измерительной цепи не соответствует нормам

Таблица 2.5 Условные обозначения, наносимые на электроизмерительные приборы и вспомогательные части

Но мер по МЭК 51	Наименование	Условное обозначение
А. Основные единицы измерения и их основные, кратные и дольные значения		
А-1	Килоампер	kA
А-2	Ампер	A
А-3	Миллиампер	mA
А-4	Микроампер	μ A
А-5	Киловольт	kV
А-6	Вольт	V
А-7	Милливольт	mV
А-8	Микровольт	μ V
А-9	Мегаватт	MW
А-10	Киловатт	kW
А-11	Ватт	W
А-12	Мегавар	Mvar
А-13	Киловар	kvar
А-14	Вар	var
А-15	Мегагерц	MHz
А-16	Килогерц	kHz
А-17	Герц	Hz
А-18	Мегаом	M Ω
А-19	Килоом	k Ω
А-20	Ом	Ω
А-21	Миллиом	m Ω
А-22	Тесла	T
А-23	Миллитесла	mT
А-24	Градус Цельсия	$^{\circ}$ C
В. Род тока и количество измерительных механизмов		
В-1	Ток постоянный	
В-2	Ток переменный (однофазный)	
В-3	Ток постоянный и переменный	
В-4	Ток трехфазный переменный (общее обозначение)	
В-5	Ток трехфазный переменный при неравномерной нагрузке фаз (общее обозначение)	
В-6	Прибор с одним измерительным механизмом для	

	трехпроводной сети	
В-7	Прибор с одним измерительным механизмом для четырехпроводной сети	
В-8	Прибор с двумя измерительными механизмами для трехпроводной сети при неравномерной нагрузке фаз	
В-9	Прибор с двумя измерительными механизмами для четырехпроводной сети при неравномерной нагрузке фаз	
В-10	Прибор с тремя измерительными механизмами для четырехпроводной сети при неравномерной нагрузке фаз	
С. Безопасность		
С-1	Напряжение испытательное 500 В	
С-2	Напряжение испытательное, превышающее 500 В (например, 2 кВ)	
С-3	Прибор испытанию прочности изоляции не подлежит	
С-7	Прибор или вспомогательная часть под высоким напряжением	
Д. Используемое положение		
Д-1	Прибор применять при вертикальном положении шкалы	
Д-2	Прибор применять при горизонтальном положении шкалы	
Д-3	Прибор применять при наклонном положении шкалы (например, под углом 60°) относительно горизонтальной плоскости	
Д-4	Прибор применять в положении Д-1 при рабочей области от 80° до 100°	
Д-5	Прибор применять в положении Д-2 при рабочей области от минус 1° до плюс 1°	

D-6	Прибор применять в положении D-3 при рабочей области от 45° до 75°	
D-7	Обозначение, указывающее на ориентирование прибора во внешнем магнитном поле	
Е. Класс точности		
E-1	Обозначение класса точности при нормировании пределов допускаемых погрешностей в процентах от нормирующего значения, определенного в единицах измеряемой величины, за исключением случая, когда нормирующее значение равно длине шкалы	По <u>ГОСТ 8.401-80</u>
E-2	Обозначение класса точности при нормировании пределов допускаемых погрешностей в процентах от нормирующего значения, определенного длиной шкалы	По <u>ГОСТ 8.401-80</u>
E-3	Обозначение класса точности при нормировании пределов допускаемых погрешностей в процентах от действительного значения	По <u>ГОСТ 8.401-80</u>
E-4	Обозначение класса точности прибора с неравномерной сокращенной шкалой, когда нормирующее значение соответствует длине шкалы и основная погрешность выражается в процентах от действительного значения (например, обозначение класса точности 1: предел допускаемой относительной погрешности 5%)	По <u>ГОСТ 8.401-80</u>
Ф. Общие условные обозначения		
F-1	Прибор магнитоэлектрический с подвижной рамкой	
F-2	Логометр магнитоэлектрический	

F-3	Прибор магнитоэлектрический подвижным магнитом	с	
F-4	Логометр магнитоэлектрический подвижным магнитом	с	
F-5	Прибор электромагнитный		
F-6	Прибор электромагнитный поляризованный		
F-7	Логометр электромагнитный		
F-8	Прибор электродинамический		
F-9	Прибор ферродинамический		
F-10	Логометр электродинамический		
F-11	Логометр ферродинамический		
F-12	Прибор индукционный		
F-13	Логометр индукционный		
F-14	Прибор тепловой нагреваемой нитью	с	
F-15	Прибор биметаллический		
F-16	Прибор электростатический		
F-17	Прибор вибрационный (язычковый)		
F-18	Термопреобразователь неизолированный		
F-19	Термопреобразователь изолированный		
F-20	Преобразователь электронный в измерительной цепи		
F-21	Преобразователь электронный во вспомогательной цепи		
F-22	Выпрямитель		
F-23	Шунт		

F-24	Сопротивление добавочное	
F-25	Сопротивление добавочное индуктивное	 или 
F-26	Сопротивление добавочное полное	
F-27	Экран электростатический	
F-28	Экран магнитный	
F-29	Прибор астатический	ast
F-30	Магнитная индукция, выраженная в мили теслах (например, 2 мТ), вызывающая изменение показаний, соответствующее обозначению класса точности. Предпочтительно нанесение надписи единицы (мТ)	а)  б) 
F-31	Зажим для заземления	
F-32	Корректор	
F-33	Ссылка на соответствующий документ	
F-34	Поле электрическое, выраженное в кВ/м (например, 10 кВ/м), вызывающее изменение показаний, соответствующее обозначению класса точности. Предпочтительно нанесение надписи единицы (кВ/м)	а)  б) 
F-35	Часть вспомогательная общая	
F-36	Щит стальной толщиной x мм	Fex
F-37	Щит стальной любой толщины	Fe
F-38	Щит нестальной любой толщины	NFe
F-39	Щит любой толщины	FeNFe
Примечания:		

1. Цифра 1) в условном обозначении означает, что в случае встроенных преобразователей обозначения F-18, F-19, F-20 и F-22 сочетаются с обозначением прибора, например, с F-1.

В случае внешних преобразователей обозначения F-18, F-19, F-20 и F-22 сочетаются с обозначением F-35.

2. При выборе обозначений единиц измерения или их основных, кратных и дольных значений, не включенных в настоящий стандарт, следует руководствоваться ГОСТ 1494-77.

Магнитоэлектрический прибор

Принцип действия приборов магнитоэлектрической системы (рис. 2.7) основан на взаимодействии проводника G током (рамки 3) с магнитным полем постоянного магнита M .

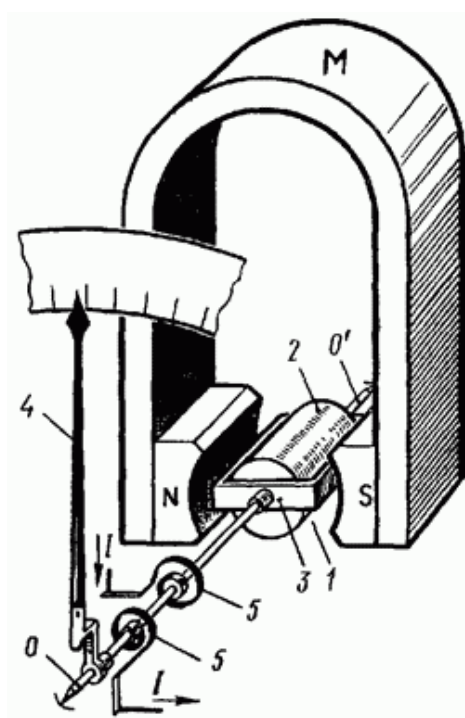


Рисунок 2.7 – Схема устройства магнитоэлектрических приборов

Подковообразный постоянный магнит M , стальные полюсные наконечники N и S , стальной цилиндр 2 образуют магнитную цепь (полюсные наконечники и стальной цилиндр служат для уменьшения магнитного сопротивления этой цепи). Благодаря форме полюсных наконечников в большей части воздушного зазора между цилиндром и наконечником создается радиально направленное однородное магнитное поле, в котором может поворачиваться подвижная рамка 3. Рамку прибора (обмотку) чаще всего выполняют из изолированного

провода на легком алюминиевом каркасе, укрепленном на двух полуосях. Измеряемый ток проходит в рамку через токоведущие спиральные пружины 5, служащие одновременно и для создания противодействующего момента.

При протекании тока по рамке на ее стороны, находящиеся в воздушном зазоре, действует пара сил (токи в этих сторонах рамки имеют противоположное направление), создающая вращающий момент и поворачивающая эту рамку в ту или иную сторону вокруг оси. Направление силы F , действующей на одну сторону рамки, может быть определено по правилу левой руки, а значение — по закону Ампера:

$$F = BIlw \sin \beta, \quad (14)$$

где B — магнитная индукция в зазоре, l — длина активной стороны рамки, I — сила тока в рамке, w — число витков рамки, β — угол между плоскостью рамки и вектором индукции в воздушном зазоре.

Благодаря тому что магнитное поле в рабочем зазоре радиальное то момент этой пары сил (вращающий момент) равен

$$M_{вр} = Fd = BIlwd, \quad (15)$$

где d — ширина рамки, являющаяся плечом пары. Так как величины B , I , w и d для данного прибора постоянные, то их произведение дает также постоянную величину, которую обозначим через

$$k_1 = Bld. \quad (16)$$

Тогда

$$M_{вр} = k_1 I. \quad (17)$$

Под действием этого вращающего момента рамка поворачивается/закручивая (или раскручивая) спиральные пружины, создающие противодействующий момент

$$M_{пр} = k_2 \alpha, \quad (18)$$

где k_2 — постоянная, характеризующая жесткость пружин, α — угол поворота оси со стрелкой. Очевидно, что рамка будет поворачиваться до тех пор, пока противодействующий момент, увеличиваясь с углом поворота, не окажется равным вращающему, т. е.

$$k_1 I = k_2 \alpha, \quad (19)$$

Откуда

$$\alpha = \frac{k_1}{k_2} I = kI, \quad (20)$$

Где k — постоянная данного прибора по току.

Таким образом, угол поворота стрелки магнитоэлектрического прибора пропорционален току в рамке и шкала такого прибора равномерная. Механизм магнитоэлектрического прибора может быть использован для устройства гальванометра, амперметра и вольтметра. Ток, проходя по обмотке рамки, создает напряжение U равное приложенному, тогда

$$\alpha = kI = k \frac{U}{R} = cU, \quad (21)$$

где c - постоянная прибора по напряжению.

Из последнего соотношения следует, что магнитоэлектрический механизм можно использовать для изготовления вольтметра. В этом случае сопротивление рамки должно быть достаточно большим g тем, чтобы прибор можно было включать параллельно нагрузкам. Однако для этого пришлось бы рамку делать из большего числа витков тонкой проволоки (а для амперметра — из небольшого числа витков толстой проволоки). Как в том, так и в другом случае рамка получилась бы тяжелой, а прибор — грубым. На практике рамки амперметров и вольтметров не имеют принципиального различия. В первом случае рамку шунтируют, а во втором — последовательно с ней включают добавочное гасящее сопротивление.

Принцип градуировки магнитоэлектрического прибора в качестве вольтметра основан на прямой пропорциональной зависимости между током в рамке и приложенным к ней измеряемым напряжением.

Для переменных токов эти приборы без дополнительных устройств — выпрямителей — непригодны, так как направление отклонения стрелки прибора зависит от направления тока в рамке. Следовательно, в цепи переменного тока подвижная часть прибора ничего не покажет. Поэтому, если нулевое деление шкалы находится не в ее середине, а на левом

краю, то около зажимов прибора ставятся знаки «+» и «-», к которым следует подключать провода соответствующей полярности. При неправильном включении такого прибора стрелка упирается в ограничитель, стремясь уйти в противоположную сторону за нулевое деление шкалы.

Специальных успокоителей в магнитоэлектрических приборах не делают. Их роль выполняет алюминиевый замкнутый каркас, на который навивается рамка. При колебаниях каркаса в нем индуцируются токи, препятствующие этим колебаниям, и подвижная система прибора быстро успокаивается.

Изменения температуры окружающей среды могут влиять на изменения сопротивления прибора, плотности магнитного потока в воздушном зазоре и упругих свойств пружин, создающих противодействующий момент. Однако два последних обстоятельства приблизительно компенсируют друг друга. Например, повышение температуры вызывает ослабление магнитного потока в воздушном зазоре, т. е. вращающий момент уменьшается, при этом уменьшение упругости пружин примерно на столько же уменьшает противодействующий момент. Изменение сопротивления прибора из-за изменения температуры окружающей среды значительно сказывается на показаниях амперметров с шунтами, но почти не сказывается на показаниях вольтметров. У вольтметра сопротивление рамки значительно меньше добавочного сопротивления, а последнее изготавливают из манганиновой проволоки, имеющей незначительный температурный коэффициент. Поэтому сопротивление всего прибора почти не изменяется.

Для устранения температурной погрешности в некоторых приборах применяют специальные схемы так называемой температурной компенсации.

К достоинствам магнитоэлектрических приборов относятся: равномерная шкала; большая точность при малой чувствительности, высокая чувствительность при малой точности (гальванометр); малая чувствительность к внешним магнитным полям; малое потребление энергии.

Недостатками таких приборов являются: пригодность только для постоянных токов (без выпрямителей), большая чувствительность к перегрузкам, сравнительно высокая стоимость.

Электромагнитные приборы

Принцип действия приборов электромагнитной системы основан на взаимодействии магнитного поля катушки, создаваемого измеряемым током, со стальным сердечником, помещенным в это поле. Неподвижная катушка 1 (рис. 2.8.1-2.8.2) состоит из каркаса с навитой изолированной медной проволокой или медной лентой. При протекании измеряемого тока по обмотке катушки в ее плоской щели 2 создается магнитное поле. Вне катушки на агатовых подпятниках устанавливается ось 8 с эксцентрично укрепленным сердечником 4 из магнитномягкой стали со стрелкой 5. Магнитное поле катушки намагничивает сердечник и втягивает его внутрь щели, поворачивая тем самым и ось со стрелкой прибора. Этому повороту

препятствует закручивающаяся спиральная пружина 6, создающая противодействующий момент.

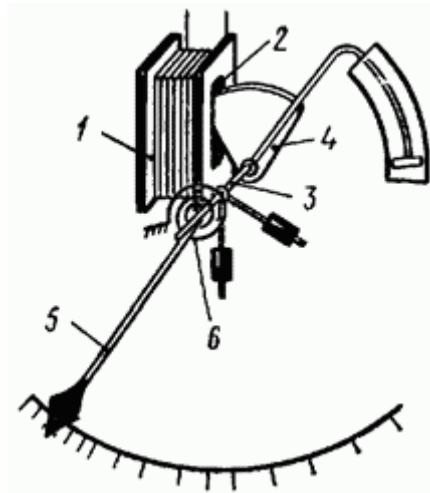


Рисунок 2.8.1 - Схема устройства электромагнитных приборов с плоской катушкой

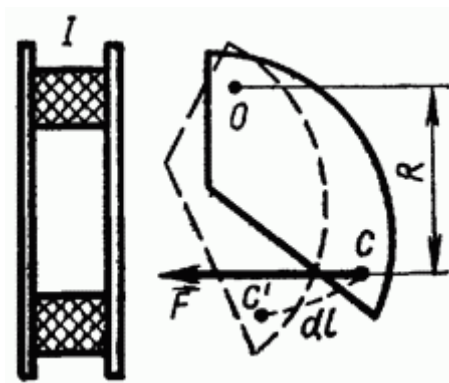


Рисунок 2.8.2 - Схема устройства электромагнитных приборов с плоской катушкой

Пусть катушка с током I создает магнитное поле, которое намагничивает фасонный стальной сердечник и создает некоторую силу F , стремящуюся

повернуть сердечник вокруг оси (рис. 2.8.2). При перемещении точки C сердечника по дуге будет совершена работа

$$dA_{\text{вп}} = Fdl = FRd\alpha, \quad (22)$$

где R — радиус вращения точки. Работа совершается за счет энергии магнитного поля катушки поэтому

$$dW_{\text{м}} = FRd\alpha, \quad (23)$$

или

$$\frac{dW_m}{d\alpha} = FR. \quad (24)$$

Тогда:

$$M_{np} = \frac{I^2 dL}{2d\alpha}. \quad (25)$$

Повороту сердечника противодействует спиральная пружина, создавая противодействующий момент

$$M_{np} = k\alpha, \quad (26)$$

где k — жесткость пружины, а α угол поворота сердечника. Тогда при достижении равновесия

$$\alpha = I^2 \frac{dL}{2kd\alpha}. \quad (27)$$

Полученный результат показывает, что шкала электромагнитного прибора неравномерная. Она, в основном, должна быть квадратичной, т. е. сжатой в начале и растянутой в конце. Однако путем придания фасонной формы сердечнику и расположением его в катушке можно существенно улучшить характер шкалы, сделав ее практически равномерной в рабочей части.

Направление отклонения стрелки прибора не зависит от направления тока в катушке, так как при изменении направления тока одновременно изменяется направление магнитной индукции внутри катушки и в сердечнике, а характер их взаимодействия (притягивание) не изменяется. Этот же вывод следует и из выражения вращающего момента (2.8), в которое значение тока входит в квадрате. Поэтому приборы электромагнитной системы пригодны и для измерения переменных токов. При измерении переменного тока подвижная система прибора поворачивается на некоторый угол, определяемый средним значением вращающего момента за период. Определим вращающий момент подвижной системы прибора.

Пусть измеряемый ток изменяется по закону

$$i = I_m \sin \omega t, \quad (28)$$

тогда мгновенное значение вращающего момента равно

$$m = ki^2, \quad (29)$$

а среднее за период значение этого момента

$$M_{\text{ср}} = \frac{1}{T} \int_0^T ki^2 dt = kI^2. \quad (30)$$

Таким образом, среднее значение вращающего момента, действующего на подвижную систему электромагнитного прибора при измерениях переменного тока, пропорционально квадрату действующего значения переменного тока. Квадратичная зависимость угла поворота подвижной системы электромагнитного прибора от тока имеет простое физическое объяснение: ток в катушке создает магнитное поле, которое намагничивает сердечник. В результате намагниченный сердечник взаимодействует с катушкой, при этом намагниченность сердечника изменяется вместе с изменениями тока в катушке.

Мы рассмотрели устройство и действие приборов с плоской катушкой. Помимо этой конструкции в настоящее время широкое применение получили так называемые приборы с круглой катушкой (рис. 2.9). Измеряемый ток протекает по обмотке круглой катушки 1 и создает внутри нее магнитное поле, в котором помещаются два стальных сердечника: один — неподвижный (2), прикрепленный к каркасу, другой — подвижный (3), связанный с осью прибора. Близлежащие концы сердечника под действием магнитного поля катушки намагничиваются одноименно и отталкиваются, вызывая соответствующий измеряемому току поворот подвижной системы. Очевидно, что приведенные рассуждения, относящиеся к приборам с плоской катушкой, справедливы и для приборов с круглой катушкой.

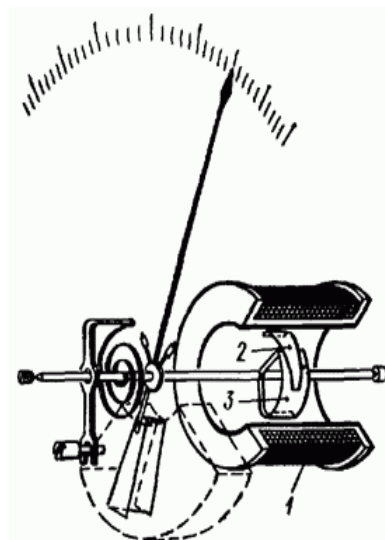


Рисунок 2.9 - Схема устройства электромагнитных приборов с круглой катушкой

Электромагнитные приборы применяются как амперметры и как вольтметры. В последнем случае обмотка выполняется большим числом витков тонкой медной проволоки.

Применение стальных сердечников в электромагнитных приборах вызывает разные показания при измерениях в цепях постоянного и переменного токов, так как в цепях переменного тока добавляются потери на гистерезис и на вихревые токи. Поэтому электромагнитные приборы, как правило, градуируют либо для постоянного тока, либо для переменного. Для уменьшения погрешности от гистерезиса сердечники некоторых приборов (класс 0,2) изготавливают из специального сплава — пермаллоя с особо малым значением коэрцитивной силы. Для исключения влияния внешних полей у некоторых электромагнитных приборов применяют астатические измерительные механизмы.

Для успокоения колебаний подвижной системы в электромагнитных приборах с плоской катушкой применяют воздушные успокоители, а в приборах с круглой катушкой — чаще магнитоиндукционные.

Достоинствами электромагнитных приборов являются: простота конструкции; способность выдерживать большие перегрузки, пригодность для постоянных и переменных токов, невысокая стоимость и возможность широкого использования в качестве щитовых приборов.

Недостатки этих приборов — неравномерная шкала, влияние внешних магнитных полей на показания приборов, малая чувствительность.

Электродинамические приборы

Принцип действия приборов электродинамической системы основан на механическом взаимодействии двух катушек с токами. На рисунке 2.10 изображен измерительный механизм электродинамического прибора с воздушным успокоителем 3.

Неподвижная катушка 1 состоит из двух секций (для создания однородного поля) и навивается обычно толстой проволокой.

Легкая подвижная катушка 2 помещается внутри неподвижной и жестко скрепляется с осью и стрелкой. Подвижная катушка включается в измеряемую цепь через спиральные пружины, создающие противодействующий момент.

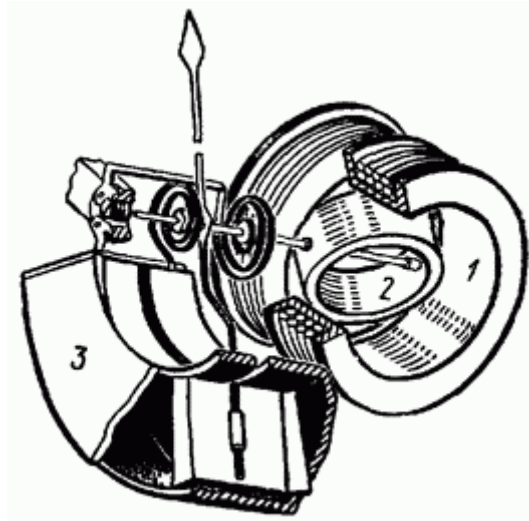


Рисунок 2.10 - Схема устройства электродинамических приборов

Если токи в катушках 1 и 2 принять равными, то их взаимодействие создаст вращающий момент стремящийся повернуть подвижную катушку так, чтобы энергия магнитного поля системы двух катушек стала наибольшей (до совпадения направлений полей). При этом поворот подвижной катушки произойдет за счет энергии магнитного поля катушек. Тогда вращающий момент действующий на подвижную катушку можно представить в следующем виде:

$$M_{\text{вп}} = \frac{dW_{\text{м}}}{d\alpha}, \quad (31)$$

где $W_{\text{м}}$ — энергия магнитного поля катушек; α — угол поворота подвижной катушки.

Энергия магнитного поля системы двух катушек складывается из энергий катушек и энергии, обусловленной их взаимной индукцией

$$W_{\text{м}} = \frac{L_1 I_1^2}{2} + \frac{L_2 I_2^2}{2} + M_{12} I_1 I_2, \quad (32)$$

где L — индуктивность катушек; M_{12} — коэффициент их взаимной индукции.

После подстановки выражений получим:

$$M_{\text{вп}} = \frac{dW_{\text{м}}}{d\alpha} = \frac{I_1^2}{2} \frac{dL_1}{d\alpha} + \frac{I_2^2}{2} \frac{dL_2}{d\alpha} + I_1 I_2 \frac{dM_{12}}{d\alpha}. \quad (33)$$

Пригодность электродинамических приборов для переменных токов объясняется тем, что направления токов в обеих катушках изменяются на противоположные одновременно (или с постоянным сдвигом по фазе), а следовательно, направление поворота подвижной катушки остается неизменным. В зависимости от назначения прибора катушки в нем могут быть соединены либо последовательно — в вольтметре (рис. 2.11, а), либо параллельно — в амперметре (рис. 2-11, б), либо в разные цепи — в ваттметре (рис. 2-11, в). Из выражения вращающего момента (2.11) следует, что изменение направления тока в какой-либо одной из катушек приведет к изменению направления поворота подвижной системы на противоположное. У вольтметров и амперметров взаимное соединение концов обмоток сделано внутри прибора, а к зажимам прибора выведены только два конца, подключаемые в цепь (включение ваттметра будет рассмотрено ниже).

Шкалы электродинамических вольтметров и амперметров неравномерны, так как токи в обеих катушках пропорциональны одной и той же измеряемой величине: для вольтметра — ток в обеих катушках один и тот же, поэтому

$$I_1 = I_2 = I \text{ и } \alpha = kI^2, \quad (34)$$

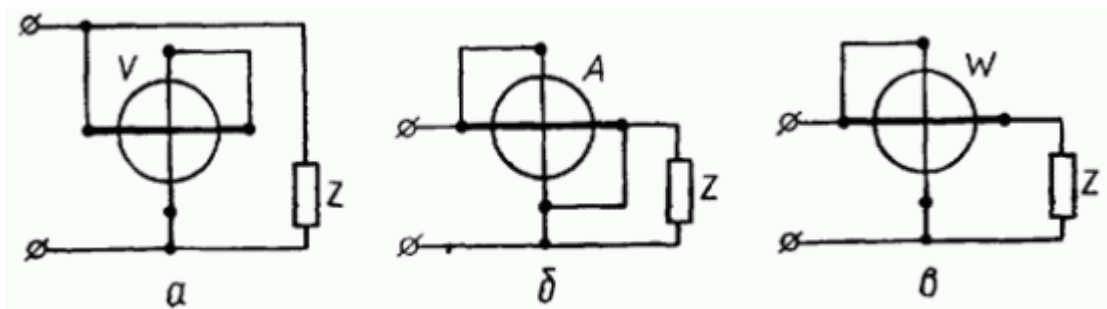


Рисунок 2.11 – Схемы подключения измерительных приборов

т. е. шкала неравномерная (квадратичная); для амперметра шкала также квадратичная. Однако на практике добиваются приблизительно равномерной шкалы в ее рабочей части подбором взаимного расположения катушек и их формы.

На показания электродинамических приборов могут влиять внешние магнитные поля, так как собственное поле катушек слабое. Для устранения этого влияния применяют астатические измерительные механизмы.

Приборы электродинамической системы изготавливают и применяют в основном как переносные лабораторные приборы классов точности 0,1; 0,2 и 0,5.

К достоинствам электродинамических приборов относятся: большая точность, позволяющая применить их в лабораторной практике как контрольные, и пригодность для измерения постоянных и переменных токов, а к недостаткам — неравномерная шкала; большая чувствительность к

перегрузкам (из-за наличия токоведущих пружин); влияние внешних магнитных полей и высокая стоимость.

Ферродинамические приборы

Малое значение вращающего момента электродинамического прибора может быть значительно увеличено введением магнитной цепи из ферромагнитных материалов. Такие приборы получили название ферродинамических.

Ферродинамический прибор состоит из стального сердечника 2, на который насажена неподвижная катушка 1, состоящая из двух секций (рис. 2.12). В воздушном зазоре между сердечником и стальным цилиндром 4 может вращаться подвижная катушка 3. Такой прибор очень похож на магнитоэлектрический, в котором роль постоянного магнита выполняет катушка с током.

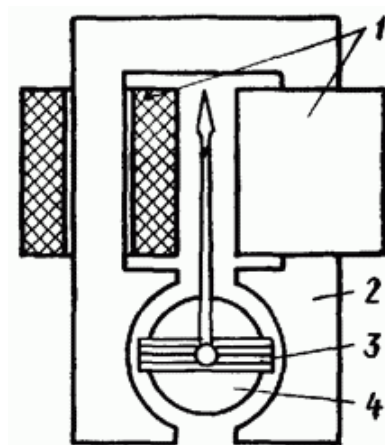


Рисунок 2.12 - Схема устройства ферродинамических приборов

Введение стального сердечника приводит к значительному повышению чувствительности и ослаблению влияния внешних магнитных полей, но вместе с этим появляются потери на гистерезис и вихревые токи, снижающие точность приборов. Ферродинамические приборы изготовляют классов точности 1,0 и 1,5.

Электростатические приборы

Электростатическая система использует силы электростатического взаимодействия между подвижными и неподвижными электродами.

В приборах электростатической системы отклонение подвижной части связано с изменением ёмкости, которое происходит вследствие изменения:

- а) активной площади пластин;
- б) изменения расстояния между пластинами.

На рисунке 2.13 изображён прибор, работа которого основана на изменении активной площади пластин.

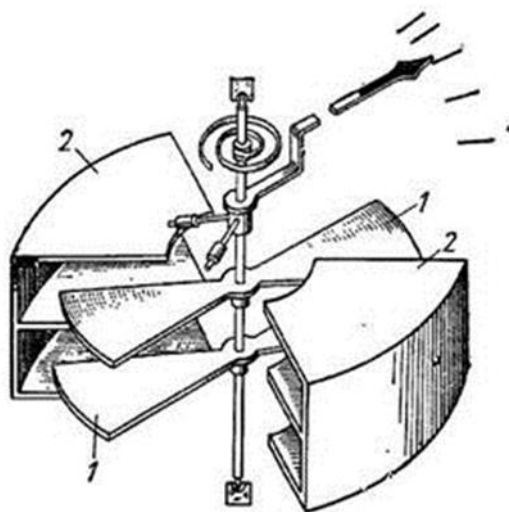


Рисунок 2.13 - Схема устройства электростатических приборов

Данный механизм состоит из подвижных и неподвижных частей. Неподвижная часть – несколько камер 2 (чем больше камер, тем больше чувствительность). Камера 2 – две металлические пластины с воздушным зазором. В зазор входит алюминиевая пластина 1 подвижной части. Если к подвижной и неподвижной пластинам подвести измеряемое напряжение, то они зарядятся противоположными по знаку зарядами. Под действием сил притяжения подвижные пластины стремятся внутрь камер. Поворот подвижных пластин, жёстко укреплённых на оси, вызовет закручивание упругих элементов, которые создают противодействующий момент. При равенстве моментов подвижная часть остановится и на шкале появится измеряемое напряжение. Применяются в вольтметрах высокого напряжения (до 300000 В).

Приборы, работающие по принципу изменения расстояния между электродами, состоят из двух неподвижных пластин 1, между которыми на двух металлических ленточках подвижная пластина 3.

Подвижный электрод электрически соединён с одной и изолирован от другой пластины. При наличии напряжения пластина 3 притягивается к одной и отталкивается от другой пластины 1. Перемещение пластины 3 посредством тяги 7 и мостика 4 передаётся на ось 6 и стрелку 5. Противодействующий момент создаётся весом пластины 3

$$M = \frac{1}{2} \frac{dC}{d\alpha} U^2 \quad (35)$$

Применяется в вольтметрах с пределом измерения исчисляющихся в киловольтах.

Характеристики приборов электростатических систем:

- применяется в цепях постоянного и переменного тока;
- рабочие частоты 20 Гц - 30 МГц в маломощных цепях;
- класс точности 1,0; 1,5; 2,5. Однако может быть 0,1 и 0,05;
- не влияет температура воздуха, внешние магнитные поля;
- малое собственное потребление тока;
- показание прибора зависит от внешнего электрического поля (в данном случае применяют электростатическое экранирование).

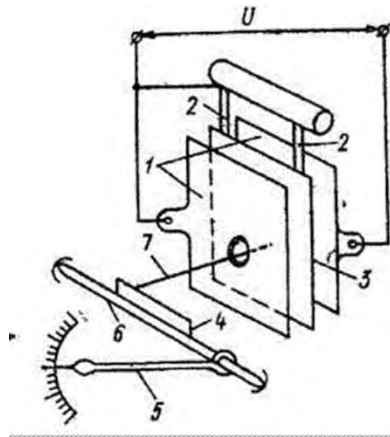


Рисунок 2.14 - Электростатический измерительный механизм с изменением расстояния между электродами

В результате того, что разноимённые заряды притягиваются – возникает вращающий момент.

Успокоение магнитоиндукционное реже жидкостное.

Достоинства: 1) Не чувствителен к изменению температуры

2) На показания не влияет, частота и форма кривой переменного напряжения

Недостатки: 1) Сильное влияние внешних магнитных полей.

2) Малая чувствительность

На базе этого измерительного механизма строят Вольтметры!

Индукционные приборы

Индукционная система основывается на взаимодействии переменных магнитных полей, создаваемых неподвижными катушками, с токами индукционными этими полями в подвижной части механизма.

В настоящее время практически используются счетчики электрической энергии индукционной системы. Измерительный механизм этой системы имеет два независимых магнитопровода, разнесенных в пространстве.

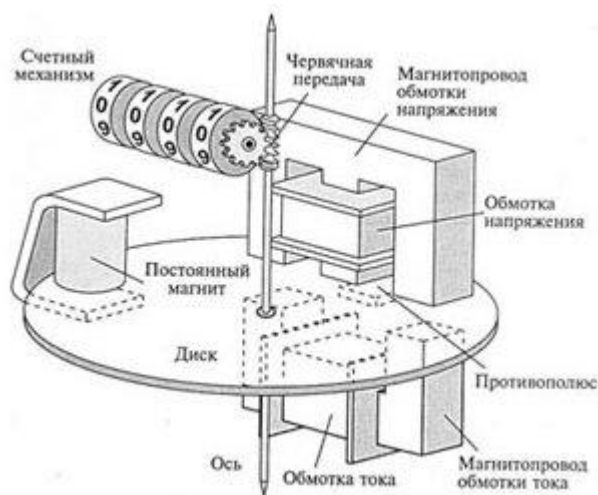


Рисунок 2.15 – Схема устройства индукционных приборов

Принцип работы устройства заключается в следующем. 2 электромагнита представляют измерительный механизм счетчика. Они расположены под углом 90° друг к другу. В магнитном поле этих электромагнитов находится диск, выполненный из алюминия. Счетчик включается в работу путем подсоединения с электроприемниками токовой обмотки последовательно, а с электроприемниками напряжения – параллельно. При номинальном напряжении 220 В обмотка катушки напряжения имеет обычно 8-12 тысяч витков провода диаметром 0,1 — 0,15 мм. Токовая катушка через которую протекает полный ток нагрузки имеет обычно количество ампер, витков в пределах 70 — 150, т.е. при номинальном токе 5 А обмотка содержит от 14 до 30 витков. При прохождении переменного тока по обмоткам в сердечниках возникают магнитные потоки переменной величины. Они пронизывают диск, в результате чего индуцируют вихревые токи. При взаимодействии последних с магнитными потоками создается усилие, которое вращает диск. Он, в свою очередь, связан со счетным механизмом, который учитывает частоту вращения диска. Цифры, расположенные на счетном механизме фиксируют расход электрической энергии.

Выпрямительные приборы

Выпрямительные приборы. Среди приборов такого типа распространены амперметры и вольтметры, которые представляют собой

соединение выпрямительного преобразователя и магнитоэлектрического измерительного механизма (рисунок 2.16).

В качестве преобразователей используются однополупериодные и двухполупериодные схемы выпрямителей. Последние могут быть с четырьмя или двумя диодами и двумя резисторами. Такие измерительные механизмы реагируют на среднее значение вращающего момента. В схеме двухполупериодного выпрямителя ток по нагрузке протекает в течение всего периода, поэтому чувствительность такого преобразователя в два раза выше.

Класс точности таких преобразователей 1,0 и ниже. Из-за использования выпрямительного измерительного механизма эти приборы обладают наивысшей чувствительностью и наименьшим потреблением энергии среди электромеханической группы. Недостатком таких приборов является зависимость показаний от частоты сигнала (собственная ёмкость диодов, индуктивность рамки) и температуры (работа диодов зависит от температуры).

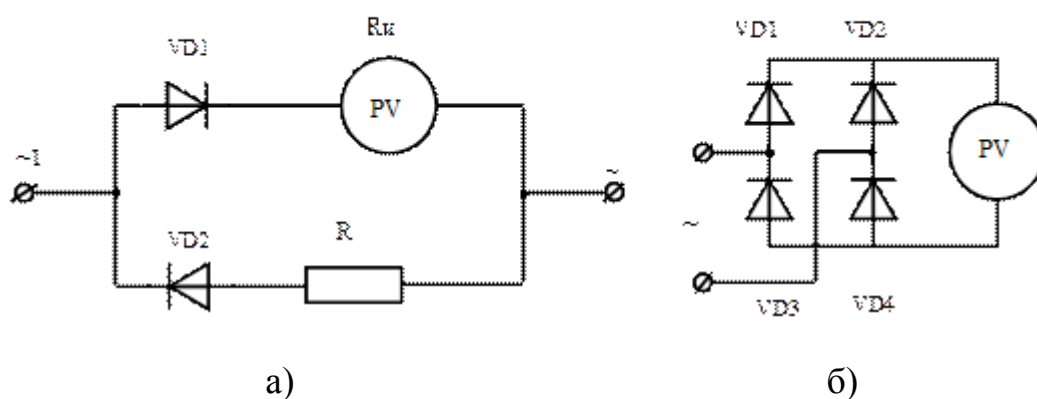


Рисунок 2.16 - Схемы включения измерительного механизма и диодов

а) однополупериодная схема выпрямления; б) двухполупериодная схема выпрямления

2.13 Назначение, схемы включения и область применения шунтов и добавочных резисторов. Схемы включения, режимы работы измерительных трансформаторов

В измерительной технике для расширения диапазона измерения приборов широкое распространение получили масштабные преобразователи: пассивные, работающие за счет энергии объекта исследования, и активные, работающие за счет дополнительного источника питания. К пассивным преобразователям относятся шунты, добавочные резисторы, измерительные трансформаторы, делители напряжения. К активным – электронные измерительные усилители.

Шунты служат для расширения пределов измерения аналоговых амперметров.

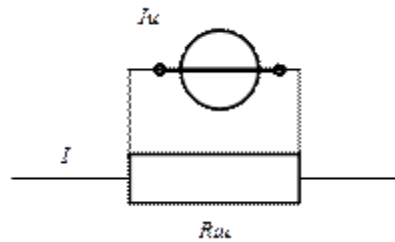


Рисунок 2.17 - Схема включения шунта

Чтобы в измерительный механизм поступал ток $I_{им}$, меньший в n раз измеренного тока I , параллельно цепи ИМ подключают шунт, сопротивление которого определяется по формуле

$$R_{ш} = R_{им} (n - 1), \quad (36)$$

где $R_{им}$ – сопротивление измерительного механизма,

$$n = I/I_{им} \quad (37)$$

n - коэффициент шунтирования (рисунок 2.17).

Добавочные резисторы служат для расширения пределов измерения аналоговых вольтметров и включаются последовательно с измерительным механизмом

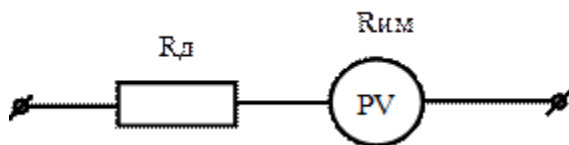


Рисунок 2.18 - Схема включения добавочного резистора

Если напряжение постоянного тока, необходимое для полного отклонения подвижной части измерительного механизма, равно $U_{им}$, а измеряемое напряжение $U = n \cdot U_{им}$, то добавочное сопротивление

$$R_{д} = R_{им} / (m - 1), \quad (38)$$

$$m = U/U_v \quad (40)$$

где $R_{им}$ – сопротивление измерительного механизма
 m - масштабный множитель.

Делители напряжения выполняют резистивными, емкостными и индуктивными дисплеями.

Резистивные делители обычно делают многопредельными с коэффициентами 10:1, 100:1, 10000:1 с полным сопротивлением делителя от 100 до 10 кОм и максимальным входным напряжением 100 В.

Измерительные трансформаторы

В настоящее время в технике больших токов и высоких напряжений измерения электрических величин производят только через так называемые измерительные трансформаторы — трансформаторы тока (ТТ) и трансформаторы напряжения (ТН), так как непосредственные измерения с применением шунтов и добавочных резисторов весьма затруднительны. Так, наибольший ток, который еще можно измерить непосредственным включением прибора, составляет 600 А, а напряжения - до 2 кВ. К тому же шунты и добавочные резисторы получаются громоздкими и дорогими из-за применения для них специальных сплавов, дающих незначительные температурные погрешности, а прикосновение к таким приборам в сетях высокого напряжения опасно для жизни.

Трансформатор тока состоит из сердечника и двух обмоток с числами витков. Сердечник набирают из тонких листов электротехнической стали с большой магнитной проницаемостью. Первичную обмотку I включают последовательно нагрузке, в цепи которой необходимо измерить ток, а вторичную II замыкают непосредственно на амперметр. Так как сопротивление прибора мало, то можно считать, что трансформатор работает в данном случае в режиме короткого замыкания, при котором общий магнитный поток определяется разностью (геометрической суммой) потоков, созданных первичной и вторичной обмотками.

Принцип работы трансформатора тока можно сравнить с принципом работы обычного силового трансформатора. В самом деле, измеряемый ток, протекая по виткам первичной обмотки, создает в ее незначительном сопротивлении весьма незначительное падение напряжения, т. е. на первичной обмотке получается небольшое напряжение, которое и трансформируется как в силовом трансформаторе. Так как число витков вторичной обмотки значительно больше числа витков первичной, то магнитный поток, действующий в первичной обмотке, создает во вторичной значительно большее напряжение при меньшем токе.

Трансформатор тока применяют не только для включения амперметров, но и для включения токовых обмоток ваттметров, счетчиков и фазометров. Для правильности показаний последних необходима правильная передача фазы тока, поэтому выводы обмоток трансформатора тока

определенным образом маркируют: первичную (линия) и вторичную — (измеритель),

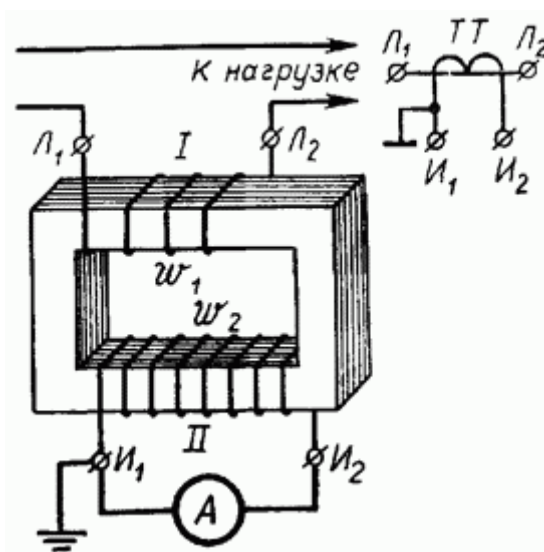


Рисунок 2.19 – Схема подключения трансформатора

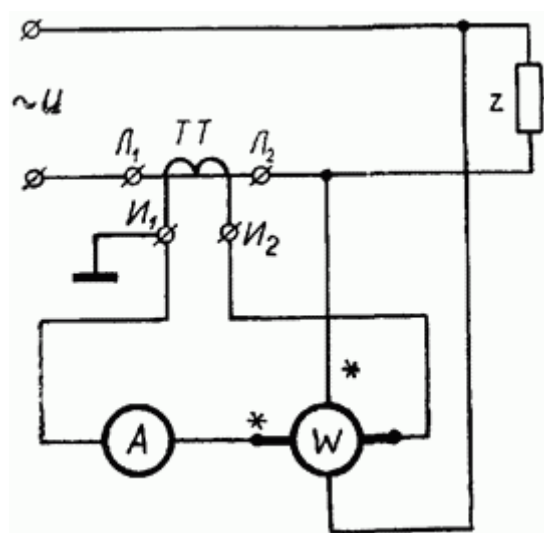


Рисунок 2.20 - Схема подключения трансформатора с несколькими подключенными измерительными приборами

причем генераторному концу соответствуют зажимы и Их. Один и тот же трансформатор тока может быть использован для одновременного включения нескольких измерительных приборов (рис. 2.20), однако включение большего числа измерительных приборов нежелательно. Это объясняется тем, что по мере увеличения числа приборов их общее сопротивление возрастает и режим работы трансформатора тока все более отходит от режима короткого замыкания (т. е. уменьшается ток вторичной обмотки).

Помимо расширения пределов измерения трансформатор тока отделяет вторичную цепь, в которую включен амперметр, от первичной, изолируя тем самым прибор от высоких напряжений сети. Поэтому измерительные

приборы монтируют обычными способами на распределительных щитах. На случай пробоя изоляции между обмотками для безопасности один вывод вторичной обмотки заземляют так, чтобы при пробое изоляции провод с высоким потенциалом оказался замкнутым на землю.

Трансформаторы тока изготавливают всегда таким образом, чтобы номинальный вторичный ток составлял 5 А. В тех случаях, когда измерительные приборы находятся на значительных расстояниях от трансформатора тока, для уменьшения падения напряжения в подводящих проводах номинальный вторичный ток делают равным 1 А.

Вторичную обмотку работающего трансформатора тока нельзя размыкать и оставлять разомкнутой. Она всегда должна быть замкнута на прибор или, если это невозможно в некоторых случаях, например при замене испорченного прибора, ее следует закорачивать проводником. Это необходимо потому, что при разомкнутой вторичной обмотке вторичный ток равен нулю, магнитный поток в сердечнике обусловлен лишь большим первичным током (а не разностью потоков первичного и вторичного токов, как при его нормальной работе). Этот большой магнитный поток создаст высокое напряжение на вторичной обмотке опасное для обслуживающего персонала. Кроме того, чрезмерно большой магнитный поток для данного сердечника (сердечник рассчитывают на рабочий поток) может вызвать опасное нагревание этого сердечника, поэтому вторичную цепь делают всегда механически прочной и надежной.

Конструктивно трансформаторы тока оформляют в зависимости от назначения по-разному. Среди переносных трансформаторов тока, имеющих, как правило, несколько коэффициентов трансформации, наиболее удобным трансформатором являются измерительные клещи (рис. 2.21) — трансформатор с разъемным сердечником, смонтированный вместе с амперметром. При нажатии на рукоятки сердечник размыкается и им обхватывается провод с измеряемым током. После прекращения нажима на рукоятки специальная пружина плотно замыкает сердечник и амперметр показывает значение тока в проводе. В данном случае провод с измеряемым током является первичной обмоткой этого трансформатора тока. Точность таких измерений невысока, но большое удобство заключается в измерении тока без разрыва провода, т. е. практически в любой точке проводной линии. Широкое распространение для точных измерений, а также в учебной лабораторной практике получил универсальный трансформатор тока УТТ-5, дающий возможность получить несколько коэффициентов трансформации. На рисунке 2.20 изображены принципиальная схема (а) и внешний вид (б) трансформатора УТТ-5.

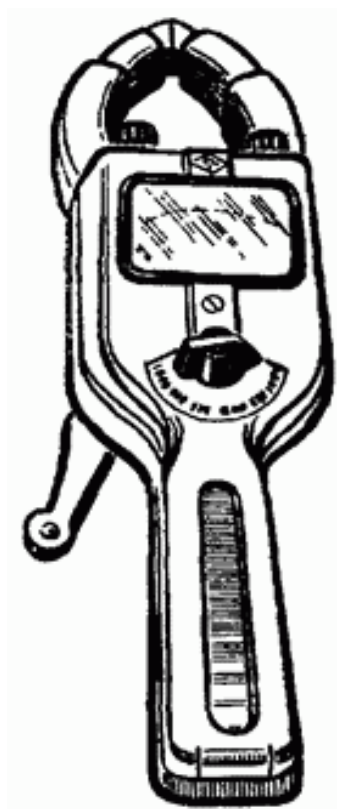


Рисунок 2.21 - Переносной трансформатор тока

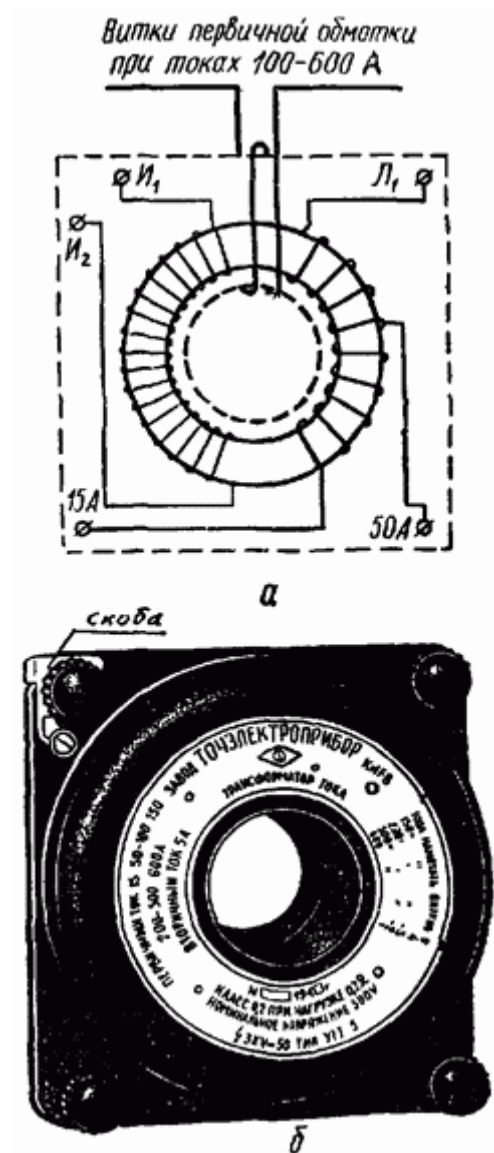


Рисунок 2.22 - принципиальная схема (а) и внешний вид (б) трансформатора УТТ-5

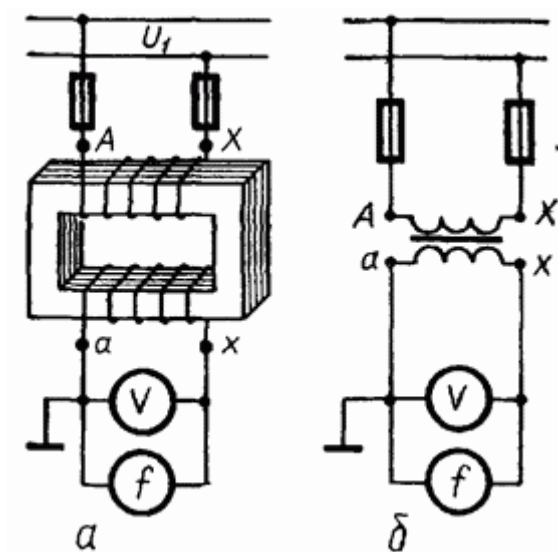


Рисунок 2.23 - Трансформатор напряжения

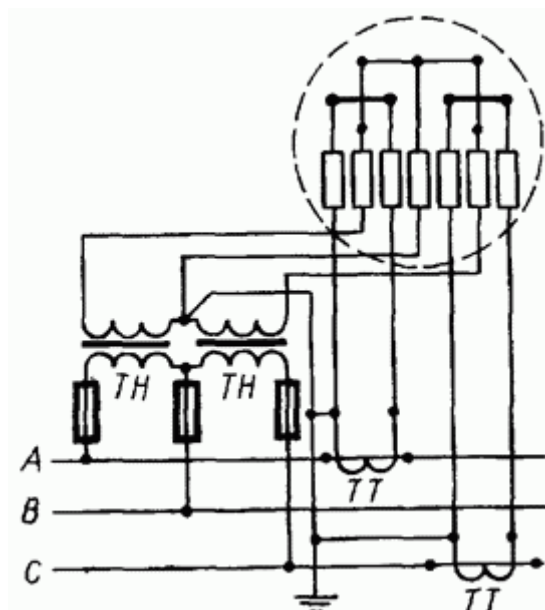


Рисунок 2.24 - Схема включения трехфазного индукционного счетчика через измерительные трансформаторы

На случай отключения прибора без выключения трансформатора из цепи имеется токопроводящая скоба, которой можно замкнуть накоротко вторичную обмотку (зажимы Их).

Трансформаторы тока применяют в современных щитовых многопредельных амперметрах.

Трансформатор напряжения (рис. 2.22, а, б) состоит из сердечника и двух обмоток: первичной и вторичной. Его устройство и принцип работы сходны с силовым трансформатором небольшой мощности, работающим в режиме холостого хода. Первичную обмотку включают на измеряемое напряжение а вторичную замыкают на вольтметр или на обмотки напряжения счетчиков, ваттметров, фазометров и т. д. Так как сопротивление этих обмоток велико, то режим работы трансформатора напряжения можно считать режимом холостого хода, т. е. изменения первичного напряжения пропорциональны изменениям вторичного при постоянном коэффициенте трансформации k . Что же касается фазы вторичного напряжения, то она противоположна фазе первичного, а для правильности показаний ваттметров, фазометров и т. д. необходимо совпадение фаз первичного и вторичного напряжений. Этого можно добиться соответствующей маркировкой зажимов трансформатора. Принято зажимы первичной обмотки трансформатора напряжения маркировать А и Х, а зажимы вторичной — а их, причем генераторными концами являются А и а. Все трансформаторы напряжения изготовляют таким образом, чтобы номинальное вторичное напряжение у них было стандартное и равное 100 В.

На случай пробоя изоляции обмоток в целях безопасности обслуживающего персонала один зажим вторичной обмотки и стальной кожух трансформатора напряжения обязательно заземляют. В конструктивном выполнении трансформаторы напряжения очень похожи на

маломощные силовые трансформаторы. При напряжениях свыше 6 кВ их делают с масляным заполнением.

В качестве примера приведем схему включения трехфазного индукционного счетчика через измерительные трансформаторы (рис. 2.24). Здесь обе токовые катушки счетчика включены через трансформаторы тока ТТ, а обмотки напряжения — через трансформаторы напряжения ТН. На случай пробоя изоляции в целях безопасности обслуживающего персонала по одному зажиму вторичных обмоток каждого трансформатора заземлены.

2.1.4 Компенсатор постоянного тока. Аналоговые электронные вольтметры

Компенсаторы - приборы, к которым измерение производится методом сравнения измеренной величины с эталонной.

Существуют компенсаторы постоянного и переменного тока, компенсационные методы применяются в цифровых приборах.

Рассмотрим принцип компенсационного метода.

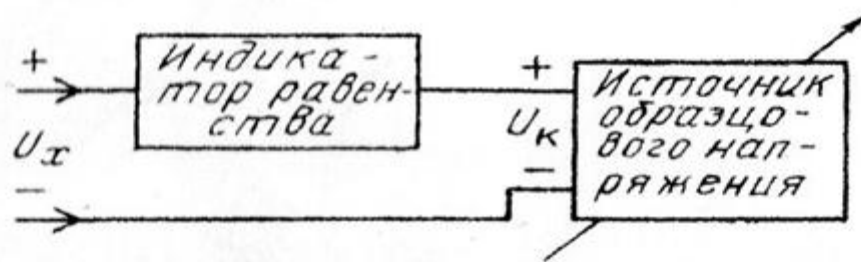


Рисунок 2.25 – Принципиальная схема компенсатора

Измеряемое U_x и компенсирующее U_k включены встречно индикатору равенства. Регулируя U_k добиваемся, чтобы индикатор показывал 0. В этом случае $U_x = U_k$.

Компенсаторы — приборы в которых измерение производится методом сравнения измеряемой величины с эталонной. Принцип действия компенсатора основан на уравнивании (компенсации) измеряемого напряжения известным падением напряжения на образцовом резисторе. Момент полной компенсации фиксируется индикаторным прибором (нуль-индикатором). Разработаны компенсаторы переменного и постоянного тока. Компенсационный метод применяется также в цифровых измерительных приборах.

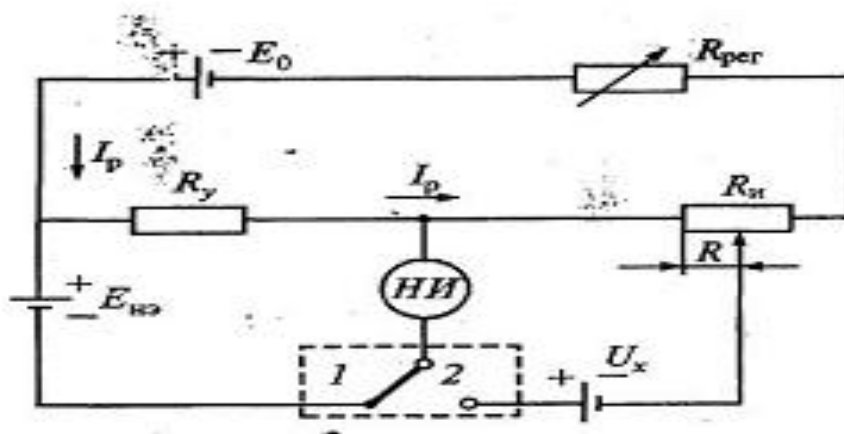


Рисунок 2.26 - Упрощенная схема компенсатора

Упрощенная принципиальная схема компенсатора постоянного тока для измерения напряжения U_x . Источник, постоянного напряжения E_0 обеспечивает протекание рабочего тока I_p по цепи, состоящей из последовательно включенных измерительного $R_{\text{и}}$, установочного (образцового) R_y и регулировочного $R_{\text{рег}}$ резисторов. В качестве источника образцовой ЭДС (меры ЭДС) используется нормальный элемент $E_{\text{нэ}}$ — изготавливаемый по специальной технологии гальванический элемент, среднее значение ЭДС которого при температуре 20°C известно с точностью до пятого знака и равно $E_{\text{нэ}} = 1,0186 \text{ В}$. Установочный резистор R_y , представляет собой катушку сопротивлений специальной конструкции с точно известным и стабильным сопротивлением. В схеме элемент НИ — нуль-индикатор, реагирующий на очень маленькие постоянные токи (чувствительность по току $S_{\text{ни}}$ — порядка 10^{-10} дел/А).

С помощью переключателя нуль-индикатор вначале включается в цепь установочного сопротивления R_y (положение переключателя 1). При этом регулировочным сопротивлением $R_{\text{рег}}$ добиваются отсутствия тока в цепи нуль индикатора. Это означает, что $I_p R_y = E_{\text{нэ}}$, откуда значение рабочего тока определяется через соотношение $I_p = E_{\text{нэ}} / R_y = 10^{-n} \text{ А}$ (для каждого типа компенсатора величина n — число индивидуальное и неизменное, что обеспечивается постоянством параметров источника напряжения $E_{\text{нэ}}$ и установочного сопротивления R_y). Затем нуль-индикатор включается в измерительную цепь (положение переключателя 2) и изменением измерительного сопротивления $R_{\text{и}}$ добиваются нулевого тока, а значит, равенства $U_x = I_p R_{\text{и}} = E_{\text{нэ}} R_{\text{и}} / R_y$. Итак, измеряемое напряжение определяется с достаточно высокой точностью и без нарушения работы измерительной цепи, так как в момент измерения ток через индикатор не протекает.

С помощью компенсатора можно также определять ток в исследуемом устройстве, преобразовав его предварительно в напряжение согласно формуле

$$I_x = U_x / R_0, \quad (41)$$

где R_0 — образцовое сопротивление.

В современных конструкциях компенсаторов вместо нормального элемента часто применяются эталонные (в частности стабилизированные) источники напряжения с более высоким значением коэффициента стабилизации, что позволяет расширить верхний предел измерения компенсатора до нескольких десятков вольт.

Погрешность компенсатора постоянного тока определяется погрешностями резисторов R_x , R_y , ЭДС нормального элемента $E_{нэ}$, а также чувствительностью нуль-индикатора. Современные потенциометры постоянного тока имеют класс точности от 0,0005 до 0,2. Верхний предел измерения до 1...2,5 В. При достаточной чувствительности мультиндикатора нижний предел измерения может составлять единицы нановольт.

Компенсационные методы используются также для измерений и на переменном токе.

Электронные измерительные приборы

Это приборы, в которых основными функциональными узлами являются различные электронные преобразователи, в качестве выходных устройств используются магнито - электрические измерительные механизмы, а в некоторых типах электронно - лучевые трубки (ЭЛТ).

Группа А-приборы для измерения силы тока.

А1- установки для поверки амперметров.

А2- амперметры постоянного тока

А3- амперметры переменного тока

А4- универсальные.

Группа В-Приборы для измерения напряжения.

В1- установки для поверки вольтметров.

В2- вольтметры постоянного тока.

В3- вольтметры переменного тока.

В4- импульсные.

В5- фазочувствительные.

В6-селективные.

В7-универсальные.

В8- измерители отношения напряжений.

Электронные вольтметры постоянного тока

Предназначены для измерения напряжений в цепях постоянного тока.

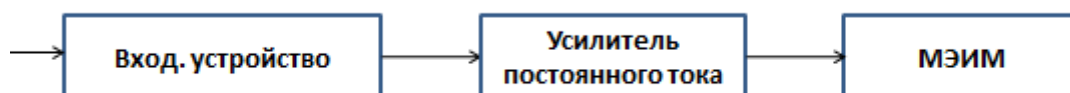


Рисунок 2.27 – Схема электронного вольтметра постоянного тока

Измерение постоянных напряжений от долей вольта до нескольких киловольт может осуществляться с помощью электронных вольтметров, которые содержат измерительный механизм и ламповый или транзисторный усилитель постоянного тока. Существует несколько разновидностей электронных вольтметров постоянного тока, однако все они характеризуются структурной схемой, показанной на рисунке.

Электронные вольтметры переменного напряжения

Предназначены для измерения напряжений в цепях переменного тока.

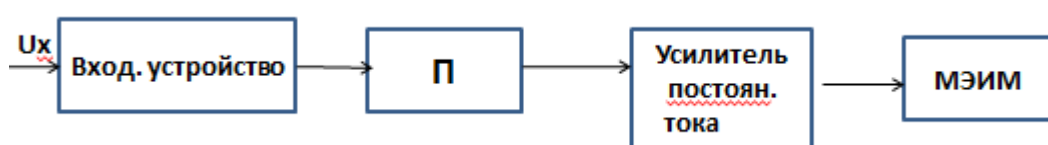


схема а

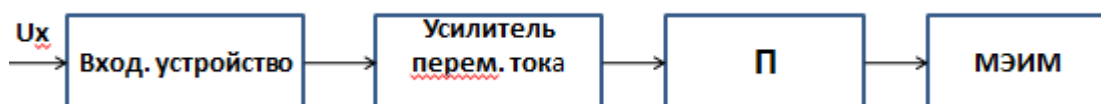


схема б

Рисунок 2.28 - Схема электронного вольтметра переменного напряжения

Схема а – характеризуется широким частотным диапазоном 20Гц - 1000МГц, но недостаточно высокой чувствительностью.

Схема б – характеризуется узким частотным диапазоном 10Гц - 20 МГц, но более высокой чувствительностью.

Универсальные электронные вольтметры

Предназначены для измерения напряжений в цепях постоянного и переменного тока.

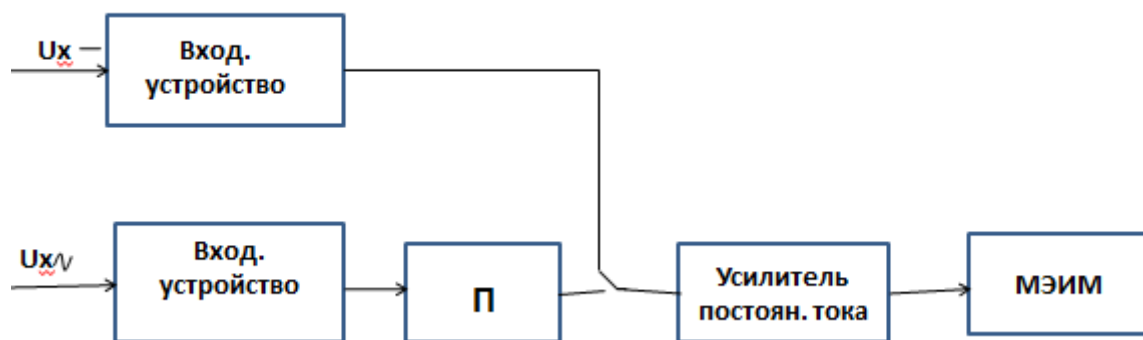


Рисунок 2.29 – Схема универсального электронного вольтметра

Входное устройство – состоит из аттенюатора, с помощью которого расширяют предел измерения вольтметра.

Усилитель - для повышения чувствительности вольтметра, является усилителем мощности.

МЭИМ – магнитоэлектрический измерительный механизм – электромеханический преобразователь.

П- преобразователь (детектор) –преобразует переменное напряжение в постоянное.

Конструктивно вольтметры переменного тока могут быть выполнены с выносным пробником, в состав которого входит входное устройство, или входное устройство с усилителем. Это позволяет увеличить чувствительность за счет снижения потерь сигнала на проводах.

2.1.5 Цифровые измерительные приборы

В настоящее время, конечно, большее распространение получили цифровые вольтметры – приборы с цифровым отсчетным устройством и аналого-цифровым преобразователем, в котором напряжение (или другие физические величины; частота, сдвиг фаз и т.д.) автоматически преобразуются в цифровой код. Такие приборы имеют ряд преимуществ перед стрелочными: обладают широким диапазоном измеряемых напряжений (от 1 мВ до 1000 В), быстродействием, позволяют проводить измерения с малыми погрешностями (0,01 - 0,005), так как принцип действия большинства приборов основан на методе сравнения, а цифровой отсчет исключает погрешность считывания.

Цифровые вольтметры позволяют также вводить данные измерений непосредственно в вычислительные машины, что позволяет в дальнейшем обрабатывать полученные данные более оперативно.

К недостаткам можно отнести сложность устройства, меньшую надежность и высокую стоимость.

Существуют различные принципы построения цифровых вольтметров постоянного тока:

По типу используемых элементов в схемах они делятся на:

- электромеханические;
- электронные;
- комбинированные.

По способу аналого-цифровых преобразований подразделяются на приборы с:

- пространственным кодированием;
- промежуточным преобразованием (в интервал времени, частоту, фазу и т.д.);
- уравновешенным образцовым напряжением (наиболее точные).

Обобщенная структурная схема электронного цифрового вольтметра представлена на рисунке.



Рисунок 2.30 - Обобщенная структура схема электронного цифрового вольтметра

Входное устройство представляет собой высокоомное сопротивление (порядка 10МОм) или катодный (эмиттерный) повторитель с калиброванным делителем. Сравнивающее устройство (нуль-орган) служит для сравнения измеряемого и образцового напряжения. Управляющие устройства состоят из генератора импульсов, задающего циклы измерения и управляющего работой логических схем. Преобразователь напряжения в код создает образцовое напряжение U_{OBR} , которое подается в сравнивающее устройство. Электронный ключ представляет собой устройство, которое

включает или переключает выходное напряжение под действием одного или нескольких входных напряжений, называемых управляющими. Электронные счетчики осуществляют отсчет измеряемого напряжения в цифровом коде (обычно в двоичной системе).

В цифровых вольтметрах нашли применение: преобразователь «напряжение – временной интервал – цифровой код», время-импульсный преобразователь интегрирующего типа, преобразователь «напряжение – частота – цифровой код», которому в силу особенностей измерения частоты также относится к АЦП интегрирующего типа. На практике встречаются цифровые вольтметры с АЦП поразрядного уравнивания.

Преобразователи интегрирующего типа используются в большинстве современных цифровых вольтметров. При этом вольтметр измеряет среднее значение напряжения за период интегрирования, что позволяет при соответствующем выборе периода интегрирования подавить напряжение аддитивных помех, присутствующих в исследуемом сигнале.

АЦП «напряжение – временной интервал – цифровой код».

Структурная схема и временные диаграммы, поясняющие принцип работы, приведены на рис. 2.31, а и б соответственно. На схеме приняты обозначения: ССІ и ССІІ – схемы сравнения, ГЛИН – генератор линейно изменяющегося напряжения, ФТ – формирователь временного интервала, ВС – временной селектор, Г – генератор счётных импульсов, СЧ – счётчик импульсов, ОУ – отсчётное устройство, БУ – блок управления.

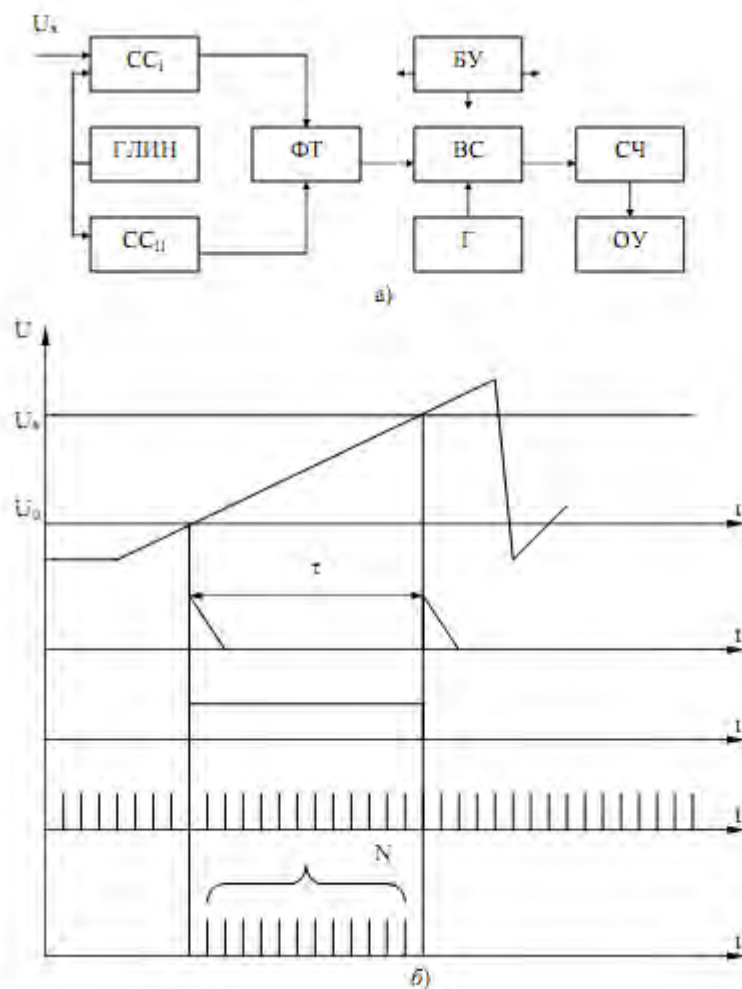


Рисунок 2.31

АЦП работает следующим образом. Напряжение с генератора линейно изменяющегося напряжения подаётся на две схемы сравнения, где сравнивается с нулевым напряжением (начало интервала времени) и с измеряемым напряжением (конец интервала времени). Импульсы начала и конца соответствующего интервала подаются на формирователь, формирующий импульс, длительность T_x которого пропорциональна величине измеряемого напряжения. На один из выходов временного

селектора поступают импульсы с генератора счётных импульсов, которые далее проходят на счётчик, если на второй вход временного селектора воздействует импульс, сформированный формирователем. Количество подсчитанных импульсов m за время T при неизменной частоте генератора счётных импульсов пропорционально величине измеряемого напряжения.

Цифровые вольтметры, использующие подобные АЦП, имеют погрешность 0,1 - 0,05%. Преимуществом таких АЦП является простота их технической реализации. Это преимущество теряется при повышении требования к точности преобразователя в основном за счет усложнения конструкции ГЛИН.

Время-импульсные АЦП интегрирующего типа. Наибольшее распространение получили АЦП с двойным интегрированием. Структурная схема и временные диаграммы, поясняющие принцип работы приведены на рис. 2.32, а и б соответственно. На схеме введены дополнительные обозначения: ИНТ - интегратор (например RC), БУ - блок управления. АЦП работает следующим образом. Блок управления формирует последовательность прямоугольных импульсов с длительностью T_1 , и пауз - длительностью T_2 . В момент появления импульса входное напряжение $U_{вх}$ подается на вход интегратора. Интегрирование напряжения осуществляется за время T_1 ,

По окончании импульса заканчивается первый такт интегрирования. В начале такта T_2 от интегратора отключается измеряемое напряжение $U_{вх}$, и подключается опорное образцовое напряжение $E_{обр}$ обратной полярности. Во втором такте интегрируется опорное напряжение до момента времени, когда напряжение на интеграторе сравняется с нулем. Длительность второго такта интегрирования T_x пропорциональна величине измеряемого напряжения. Чем больше величина измеряемого напряжения, тем больше длительность второго такта.

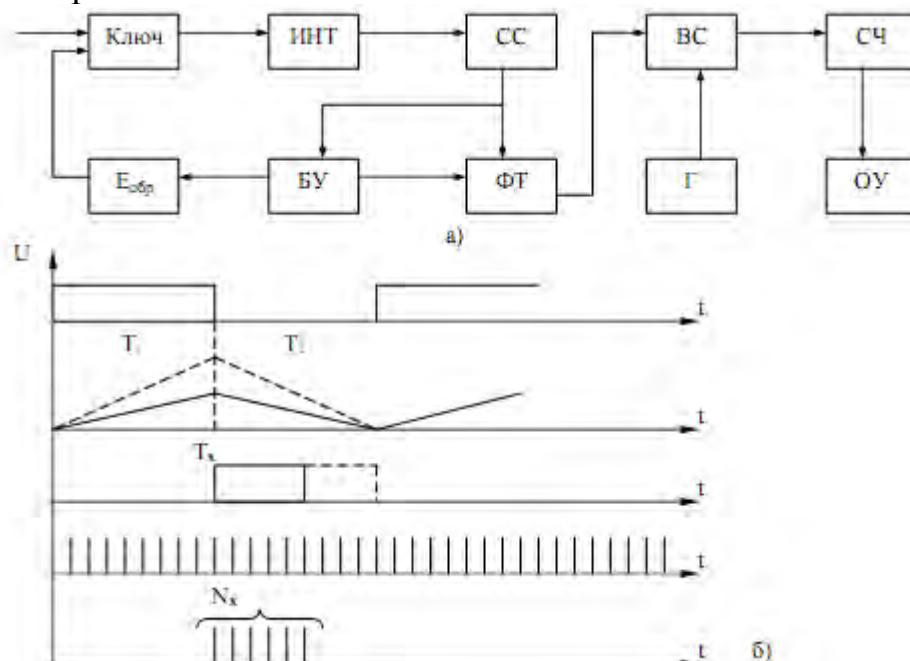


Рисунок 2.32

В большинстве современных цифровых вольтметров используется АЦП время-импульсного типа с двойным интегрированием. Погрешность таких цифровых вольтметров может достигать 0,02 - 0,005%. Для поддержания условия кратности периода интегрирования T периоду помехи (50 и 400 Гц) в цифровых вольтметрах используют автоматическую подстройку частоты.

АЦП с преобразованием напряжения в частоту. Несмотря на сравнительную сложность практической реализации, подобные АЦП используются в ряде цифровых вольтметров, а также в дополнительных блоках к электронно-счетным частотомерам. Это позволяет расширить возможности частотомеров и использовать их в качестве вольтметров. Структурная схема и временные диаграммы наиболее часто используемого преобразователя приведены на рис. 2.33, а и б соответственно, где ПОС - преобразователь обратной связи; УПТ - усилитель постоянного тока, который совместно с R_1 , R_2 и C представляет собой интегратор. Подобный преобразователь называют преобразователем с импульсной обратной связью. Выходная мгновенная частота преобразователя пропорциональна среднему значению напряжения за время интегрирования T_i . Однако измеренная частота на интервале измерения $T_{из}$ пропорциональна среднему значению напряжения на этом интервале.

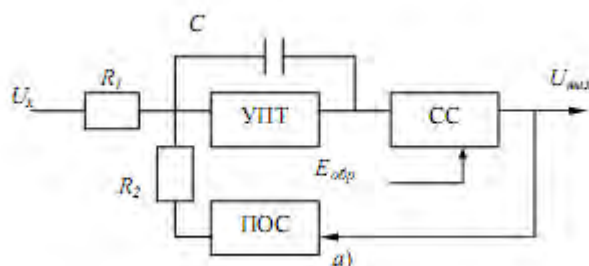


Рисунок 2.33 (а)

Преобразователь "напряжение - частота" работает следующим образом. При подаче напряжения U_x на вход интегратора с постоянной времени интегратора R_1C напряжение на выходе интегратора растет. При равенстве этого напряжения и $E_{обр}$ преобразователь обратной связи вырабатывает сигнал, возвращающий интегратор в первоначальное состояние. При постоянном U_x эти операции повторяются периодически.

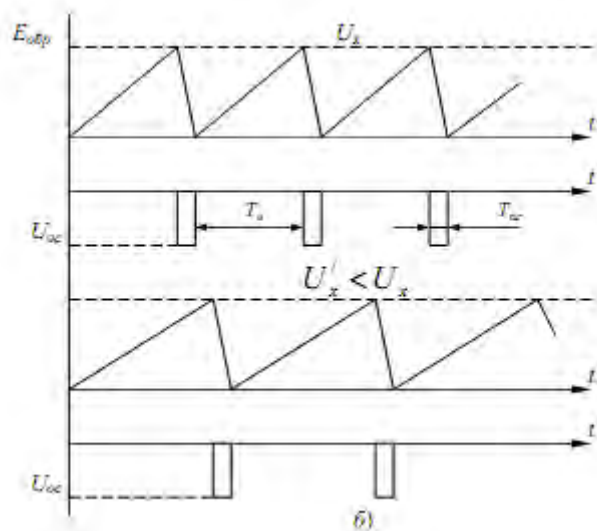


Рисунок 2.33 (б)

Вольтметры, использующие подобные АЦП, позволяют получить погрешность измерения $0,1 - 0,005\%$ и возможность подавления помех.

Кодоимпульсные цифровые вольтметры

В кодоимпульсных цифровых вольтметрах (в вольтметрах с поразрядным уравниванием) реализуется принцип компенсационного метода измерения напряжения. Упрощенная структурная схема такого вольтметра представлена на рис. 2.34.

Измеряемое напряжение U_x , полученное с входного устройства, сравнивается с компенсирующим напряжением U_k вырабатываемым прецизионным делителем и источником опорного напряжения. Компенсирующее напряжение имеет несколько уровней, квантованных в соответствии с двоично-десятичной системой счисления. Например, двухразрядный цифровой вольтметр, предназначенный для измерения напряжений до 100 В, может включать следующие уровни напряжений: 80, 40, 20, 10, 8, 4, 2, 1 В.

Сравнение, измеряемого U'_x и компенсирующего U_k напряжений производится последовательно по командам управляющего устройства. Процесс сравнения напряжений показан на рис. 2.33. Управляющие импульсы U_y через определенные интервалы времени переключают сопротивления прецизионного делителя таким образом, что на выходе делителя последовательно возникают значения напряжения: 80, 40, 20, 10, 8, 4, 2, 1 В; одновременно к соответствующему выходу прецизионного делителя подключается устройство сравнения.

Если $U_k > U'_x$, то с устройства сравнения поступает сигнал $U_{сп}$ на отключение в делителе соответствующего звена, так, чтобы снять сигнал U_k .

Если $U_k < U'x$, то сигнал с устройства сравнения не поступает. После окончания процесса сравнения полученный сигнал $U_{код}$ положения ключей прецизионного делителя и является тем кодом, который считывается цифровым отсчетным устройством.

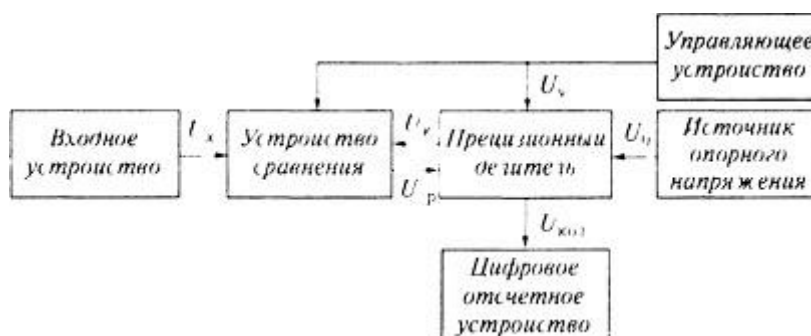


Рисунок 2.34 - Упрощенная структурная схема кодоимпульсного вольтметра

На рис. 2.34 для наглядности показан процесс кодирования аналогового напряжения с амплитудой 63 В, из которого видно, что код, соответствующий этому сигналу, будет 01100011.

Процесс измерения напряжения в кодоимпульсном приборе напоминает взвешивание на весах, поэтому приборы иногда называют поразрядно-уравновешивающими. Точность кодоимпульсного прибора зависит от стабильности опорного напряжения, точности изготовления делителя, порога срабатывания сравнивающего устройства.

Для создания нормальной помехозащищенности (60...70 дБ) на входе приборов ставится помехоподавляющий фильтр. В целом такой цифровой прибор обладает хорошими техническими характеристиками и используется как лабораторный.

Вольтметр частотно-импульсного преобразования с пнч

Свойство помехозащищенности легко обеспечить, используя преобразование напряжения в частоту, а затем измерить эту частоту с помощью частотомера средних значений за интервал времени, кратный предполагаемому периоду помехи, например, за 20 мс.

Обобщенная структура вольтметра будет выглядеть так, как это показано на рис. 2.35.

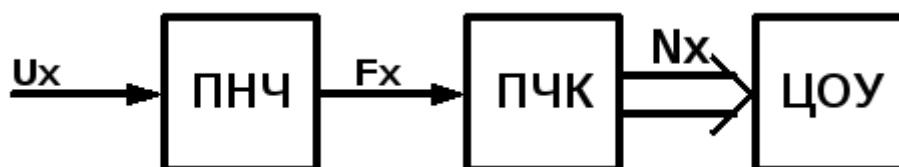


Рисунок 2.35 - Обобщенная структурная схема вольтметра частотно-импульсного преобразования с ПНЧ

Работа схемы осуществляется следующим образом. Измеряемое напряжение поступает на вход преобразователя напряжение частота (ПНЧ), на выходе которого будет присутствовать последовательность прямоугольных импульсов определенных для данной схемы логических уровней, частота F_X следования которых описывается уравнением

$$F_X = U_X \cdot K_{\text{ПНЧ}}, \quad (42)$$

где $K_{\text{ПНЧ}}$ – коэффициент (крутизна) преобразования ПНЧ.

Частота F_X с помощью схемы преобразователя частота – код (ПЧК) преобразуется в цифровой код N_X за время преобразования T_0 , формируемое в схеме ПЧК, т.е.

$$N_X = F_X \cdot T_0 \quad (43)$$

Уравнение преобразования рассматриваемого вольтметра будет иметь вид

$$N_X = U_X \cdot K_{\text{ПНЧ}} \cdot T_0 \quad (44)$$

Цифровой код N_X поступает на ЦОУ, в результате чего на его индикаторах отображается число, соответствующее измеряемому напряжению N_X .

Как видно из уравнения преобразования, погрешность измерения представляет собой сумму погрешностей ПНЧ и ПЧК.

Разновидности ПНЧ, используемые в ЦИУ:

Преобразователи напряжение – частота (ПНЧ) служат средством преобразования электрических сигналов для различных приборов и систем. Они обеспечивают высокую помехозащищенность и чувствительность приборов. ПНЧ применяются при решении задач построения интегрирующих АЦП, измерении усредненных параметров сигналов, а также при решении задач генерации и модуляции частоты.

В приборостроении наибольшее распространение получили интегрирующие ПНЧ, обладающие следующими достоинствами:

а) хорошей точностью при минимальном числе необходимых прецизионных компонентов (у ПНЧ на дискретных компонентах достигается линейность от 0,1 до 0,001%, в интегральных микросхемах – до 0,01%);

б) высокой помехоустойчивостью;

в) малой чувствительностью к изменениям питающего напряжения;

г) отсутствием дифференциальной нелинейности.

ПНЧ преобразуют входное напряжение в частоту выходных импульсов, которые могут передаваться на большие расстояния без искажения информационного параметра – частоты.

Интегрирующие ПНЧ можно разделить на три основных группы:

1. с заданной длительностью одного такта;
2. с заданной амплитудой напряжения на выходе интегратора;
3. с заданным интегралом непрямоугольного компенсирующего импульса.

ПНЧ с заданным тактом (пнчзт)

Такие ПНЧ строятся по принципу двухтактного интегрирования с фиксированной длительностью 1-го такта.

Общее уравнение преобразования ПНЧ ЗТ имеет вид

$$f_{\text{вых}} = \frac{U_2}{U_2 - U_1} \cdot \frac{1}{T_1}, \quad (45)$$

где U_1 , U_2 – напряжения, подключенные к входу интегратора, в первом и втором тактах преобразования соответственно; T_1 – длительность первого такта преобразования.

Обычно схемы ПНЧ ЗТ выполняются так, что $U_1 = U_{\text{ВХ}} - U_0$, $U_2 = U_{\text{ВХ}}$. Отсюда уравнение преобразования ПНЧ данного типа, в общем виде, можно записать следующим образом:

$$f_{\text{ВЫХ}} = \frac{U_{\text{ВХ}}}{U_0} \cdot \frac{1}{T_1}, \quad (46)$$

где U_0 – опорное напряжение ПНЧ.

В интегральном исполнении ПНЧ ЗТ выпускаются, например, в виде микросхем КР1108ПП1, КР1143ПП1, AD650, AD652, ADVFC32

(производитель – корпорация AnalogDevices) и VFC32, VFC320 (производитель – фирма BurrBrown).

Несомненным достоинством интегральных ПНЧ данного типа является, как было сказано выше, высокая линейность характеристики преобразования. Кроме того, применение интегральных ПНЧ позволяет свести к минимуму количество дополнительных внешних ЭРЭ. Однако интегральные ПНЧ имеют и ряд недостатков. К ним относятся, в частности, сравнительно узкий диапазон частот выходного сигнала, а также некоторые трудности, связанные с коррекцией погрешностей интегратора, а именно ЭДС смещения нуля и входных токов.

Поэтому разработчики РЭА зачастую используют в проектах приборов и систем ПНЧ ЗТ, реализованные на дискретных элементах. Один из вариантов построения схемы такого ПНЧ приведен на рис. 2.35.

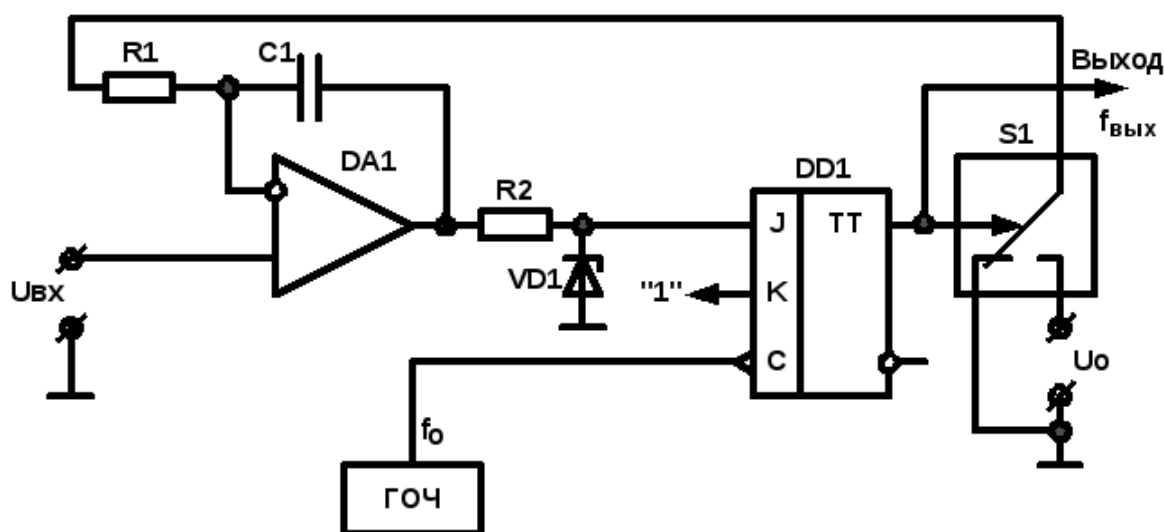


Рисунок 2.36 - Функциональная схема ПНЧ ЗТ

Временные диаграммы работы данной схемы приведены на рис. 2.36.

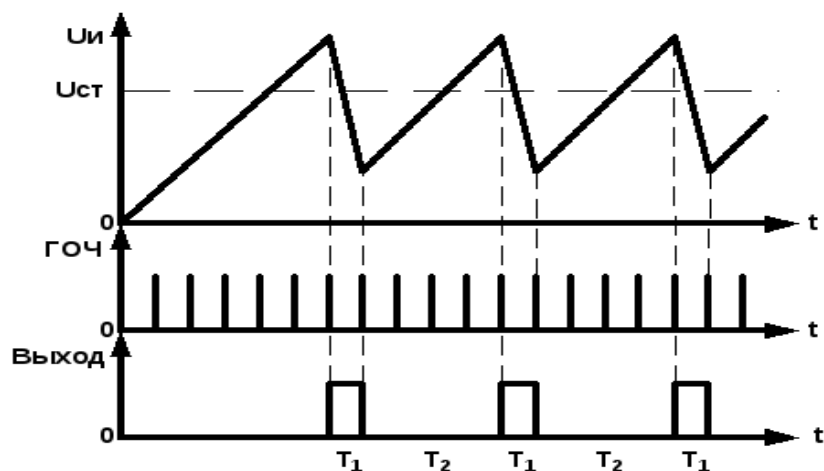


Рисунок 2.37 - Временные диаграммы работы ПНЧ ЗТ

Работа схемы происходит следующим образом. При включении ПНЧ и подаче входного напряжения U_{BX} положительной полярности начинает увеличиваться напряжение U_I на выходе интегратора. Как только оно достигнет напряжения стабилизации U_{CT} стабилитрона VD1, на входе "J" триггера DD1 установится логическая "1". Таким образом, триггер перейдет в счетный режим (режим делителя частоты на 2). Первый же задний фронт импульса с выхода генератора образцовой частоты (ГОЧ) установит на выходе триггера "1", которая замкнет ключ S1 на выход источника опорного напряжения U_0 . При этом начнется формирование заданного такта T_1 .

Под действием напряжения U_0 напряжение U_I начинает убывать. Первый же задний фронт импульса с выхода ГОЧ установит на выходе триггера "0", который переключит ключ S1 на землю. Такт T_1 завершится, и начнется такт T_2 . В этом такте на вход интегратора будет поступать только напряжение U_{BX} , и напряжение U_I вновь начнет возрастать. Как только это напряжение достигнет уровня U_{CT} , на входе "J" триггера DD1 вновь установится логическая "1". Первый же задний фронт импульса с выхода ГОЧ установит на выходе триггера "1", которая замкнет ключ S1 на выход источника опорного напряжения U_0 . Таким образом, такт T_2 будет завершен.

Далее описанный выше процесс повторяется.

Получим выражение, связывающее входное напряжение U_{BX} и выходную частоту $f_{ВЫХ}$.

В первом такте напряжение на конденсаторе C определяется выражением

$$U_{C1} = \frac{U_{BX} - U_0}{R1 \cdot C} \cdot t_0, \quad (47)$$

где $t_0 = T_1$ – длительность 1-го такта преобразования, равная периоду следования импульсов с выхода ГОЧ.

Во втором такте напряжение на конденсаторе C определяется выражением

$$U_{C2} = \frac{U_{BX}}{R1 \cdot C} \cdot T_2. \quad (48)$$

Так как среднее значение напряжения на конденсаторе C за время преобразования равно нулю, т.е. $U_{C1} = U_{C2} = 0$, то

$$\frac{U_{BX} - U_0}{R1 \cdot C} \cdot t_0 = - \frac{U_{BX}}{R1 \cdot C} \cdot T_2 \quad (49)$$

или

$$\frac{U_0 - U_{BX}}{R1 \cdot C} \cdot t_0 = \frac{U_{BX}}{R1 \cdot C} \cdot T_2. \quad (50)$$

Период выходного сигнала

$$T_{ВЫХ} = t_0 + T_2 = t_0 + \frac{U_0 - U_{BX}}{U_{BX}} \cdot t_0 = \frac{U_0}{U_{BX}} \cdot t_0. \quad (51)$$

Отсюда уравнение преобразования ПНЧ ЗТ, выполненного по схеме рис. 2.37:

$$f_{ВЫХ} = \frac{1}{T_{ВЫХ}} = \frac{U_{BX}}{U_0} \cdot t_0. \quad (52)$$

Достоинством такого ПНЧ является то, что точность элементов времязадающей цепи интегратора R1, C не влияет на точность преобразования. Погрешности данного ПНЧ полностью определяются операционным усилителем (ОУ) DA1 (подробно погрешности ОУ и схем на их основе рассмотрены в [1, 2]).

Недостатком этого ПНЧ является сравнительно небольшое быстродействие (выходная частота не превышает 250 МГц), определяемое быстродействием триггера DD1 и ключа S1 (это самый медленный элемент схемы), а также частотными погрешностями ОУ интегратора.

Еще одна схемная реализация ПНЧ ЗТ, выполненного на дискретных элементах, приведена на рис. 2.38.

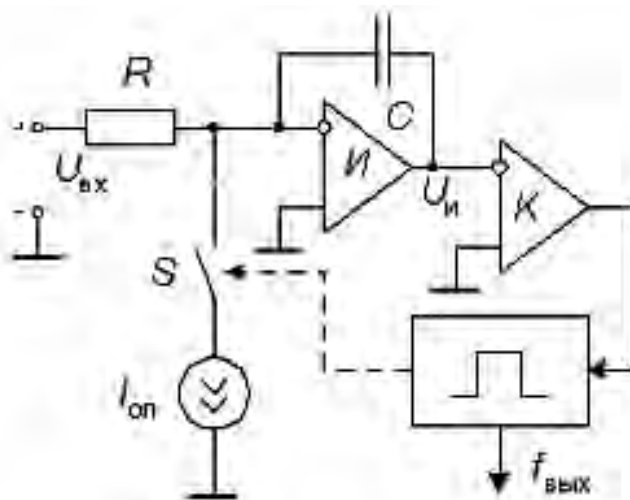


Рисунок 2.38 - Функциональная схема ПНЧ ЗТ с образцовым источником тока:

И – интегратор; К – компаратор; \square – одновибратор

Работает такой ПНЧ следующим образом. Под действием положительного входного сигнала $U_{ВХ}$ напряжение $U_{и}$ на выходе интегратора уменьшается. При этом ключ S разомкнут, т.к. на выходе одновибратора "0". Когда напряжение $U_{и}$ уменьшится до нуля, компаратор переключается в из "1" в "0", запуская тем самым одновибратор. Одновибратор формирует импульс стабильной длительности $T_{и}$, который управляет ключом (последовательность этих импульсов является выходным сигналом ПНЧ).

Ключ замыкается, и ток $I_{оп}$ от источника тока в течение $T_{и}$ поступает на вход интегратора, вызывая увеличение выходного напряжения интегратора. Далее описанный процесс повторяется.

Импульсы тока $I_{оп}$ уравнивают ток, вызываемый входным напряжением $U_{ВХ}$. В установившемся режиме

$$-\frac{1}{RC} \int_0^T U_{ВХ}(t) dt + \frac{1}{C} \int_0^{T_{и}} I_{оп} dt = 0, \quad (53)$$

откуда следует, что частота сигнала на выходе схемы

$$f_{ВЫХ} = \frac{1}{T} = \frac{U_{ВХср}}{R \cdot I_{оп} \cdot T_{и}}, \quad (54)$$

где $U_{ВХср}$ – среднее значение входного напряжения за период T .

Это выражение показывает, что точность преобразования определяется точностью установки опорного тока $I_{оп}$, точностью формирования длительности импульса одновибратора $T_{и}$, а также точностью резистора R . Емкость конденсатора C не оказывает влияния на частоту ПНЧ.

Данная схема имеет более широкий диапазон преобразования по сравнению со схемой, приведенной на рис. 2.36, за счет того что коммутация тока $I_{оп}$ производится токовым ключом, быстродействие которого выше, чем быстродействие потенциального ключа. Однако, как видно из уравнения преобразования, и количество источников погрешностей в этой схеме больше.

Основной недостаток этой схемы: неравномерная расстановка выходных импульсов. Эти импульсы синхронизированы с импульсами опорной частоты f_0 с выхода ГОЧ. На выходе ПНЧ присутствуют "пачки" импульсов, и лишь среднее значение выходной частоты будет соответствовать уравнению преобразования.

2.1.6 Особенности измерения тока и напряжения повышенной и высокой частот. Безопасность при измерении тока и напряжения

Для измерения и обнаружения малых токов (10^{-11} - 10^{-5} А) и напряжений (меньших 10^{-4} В) применяют гальванометры – высокочувствительные измерительные механизмы обычно магнитоэлектрической системы. В отличие от приборов, шкалы которых градуируются в измеряемых величинах, гальванометры имеют неименованную шкалу, цена деления которой указывается в паспортных данных прибора или определяется экспериментально.

Измерение постоянных токов и напряжений можно производить с помощью амперметров и вольтметров электромагнитной и электродинамических систем. Они применяются в основном для измерений в цепях переменного тока.

Для измерения тока и напряжения промышленной частоты наиболее часто используют приборы электромагнитной и электродинамической систем.

Для измерения в диапазоне частот 40 - 500 Гц используются электромагнитные амперметры и вольтметры в виде стационарных или переносных приборов. Стационарные (щитовые) приборы изготавливают однопредельными, чаще всего на 5А и 100В, а переносные – многопредельными.

Амперметры представляют собой непосредственно измерительный механизм электромагнитной системы. Число витков катушки и толщина провода выбираются в зависимости от значения измеряемого тока таким образом, чтобы образующееся магнитное поле в месте расположения ферромагнитного сердечника обеспечило полное отклонение подвижной части измерителя при номинальном значении тока.

Электромагнитные амперметры способны выдерживать большие перегрузки по току; мощность, потребляемая амперметрами на 5 - 10 А, примерно равна 0,5 - 2,0 Вт.

В электромагнитных вольтметрах последовательно с катушкой измерительного механизма включено без реактивное добавочное сопротивление. Катушка изготавливается из большого числа витков тонкого медного провода. Для того чтобы вольтметр имел одну шкалу для измерения на постоянном и переменном токе, его полное сопротивление Z_V должно по возможности иметь активный характер, т.е. $Z_V = RV$. Это достигается ограничением частотного диапазона измеряемых напряжений и таким подбором добавочного сопротивления, при котором реактивностью цепи вольтметра можно пренебречь.

Температурная и частотная погрешности у вольтметров электромагнитной системы больше, чем у амперметров. Это объясняется большим числом витков катушки измерительного механизма. Мощность, потребляемая вольтметром, в зависимости от его конструкции и пределов измерения колеблется в пределах от 3 до 20 Вт.

Электродинамические приборы используются обычно для измерения тока и напряжения в диапазоне 40 Гц - 1 кГц. При более высоких частотах появляется значительные дополнительные (частотные) погрешности.

Выпускаемые вольтметры переменного тока содержат различные преобразователи переменного напряжения в постоянное. Шкалы вольтметров могут градуироваться для разных параметров переменного напряжения. При градуировке шкалы имеет большое значение форма переменного напряжения. Следовательно, в зависимости от принятого преобразователя и условий градуировки вольтметр переменного тока может измерять одни параметры напряжения переменного тока, а показывать другие значения. При градуировке шкалы учитывается коэффициент пересчета k_D измеряемого параметра переменного напряжения в показываемое значение. Это приводит к тому, что показания различных вольтметров переменного тока при измерении одного и того же параметра переменного напряжения могут быть различны. Необходимо отметить, что подавляющее большинство вольтметров переменного тока (за исключением импульсных вольтметров) проградуировано в среднеквадратических значениях синусоидального напряжения

Тема 2.2 Измерительные генераторы

Классификация и основные параметры измерительных генераторов

Генератором измерительных сигналов называется прибор, создающий электрические сигналы с известными параметрами – частотой, напряжением (мощностью) и формой. Основное назначение измерительных генераторов – имитация сигналов, поступающих на вход исследуемого устройства в реальных рабочих условиях. Кроме того они могут использоваться в качестве источников питания различных измерительных устройств – мостов, резонансных цепей, преобразователей и т.п.

Подгруппа приборов, предназначенная для формирования измерительных сигналов, обозначается буквой «Г». Согласно ГОСТ в эту подгруппу входят семь видов приборов:

Г1 – используют для проверки генераторов;

Г2 – генераторы шумовых сигналов;

Г3 – генераторы низких частот от 20 Гц до 300 кГц, формирующие сигналы синусоидальной формы. (Имеется тенденция расширения этого диапазона вниз до долей герца и вверх до единиц мегагерц);

Г4 – высокочастотные синусоидальные генераторы. Обычно эти генераторы носят название высокочастотных в диапазоне от 30 кГц до 300 МГц и СВЧ - в диапазоне от 300 МГц до 18 ГГц;

Г5 – генераторы импульсов;

Г6 – генераторы сигналов специальной формы;

Г7 – генераторы качающейся частоты (свип генераторы).

Г8 - синтезаторы частоты.

К основным параметрам генераторов относятся:

1. Форма сигнала измерительного генератора (синусоидальная, импульсная и т.д.)

2. Форма сигнала данной формы (частота повторения, амплитуда, длительность и скважность прямоугольного импульса, длительность фронта и среза, коэффициент гармоник и т.п.)

3. Предел регулировки параметров сигнала (диапазон частот, пределы регулировки ослабления, пределы установки длительности и т.п.).

4. Пределы допускаемых погрешностей установки параметров сигнала (установки частоты, амплитуды, длительности импульсов и т.п.)

5. Нестабильность параметров сигнала за некоторый интервал времени (указывается при определенных изменениях внешних условий, напряжения питания, регулировании других параметров сигнала).

Генератор сигналов низкой частоты

вырабатывает синусоидальный сигнал в диапазоне от 26 Гц до 400 кГц, который разделен на пять поддиапазонов (26...240, 200...1500 Гц: 1.3...10, 9...60, 56...400 кГц). Максимальная амплитуда выходного сигнала 2 В. Измерительные генераторы сигналов низкой частоты предназначены для воспроизведения электромагнитного синусоидального сигнала низкой частоты. Измерительные генераторы сигналов низкой частоты применяются для проверки и настройки радиоэлектронных устройств: промежуточных и усилительных каналов радиоприемных и телевизионных устройств, каналов связи радиопередающих устройств, настройке и ремонте профессиональных и любительских усилителей.

Рассмотрим общую структурную схему генератора низких частот (НЧ).

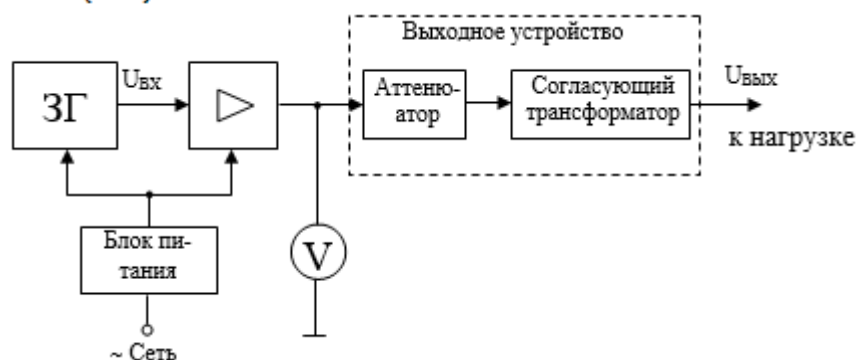


Рисунок 2.40 – Структурная схема измерительного генератора НЧ

Задающий генератор (ЗГ) предназначен для формирования сигналов с определенной частотой и формой. Представляет собой автогенератор периодических сигналов, и служит для преобразования энергии источника питания в энергию электромагнитных колебаний.

В зависимости от схемы задающего генератора (ЗГ) генераторы низких частот делятся на генераторы LC и RC-типа.

После задающего генератора включается усилитель, который предназначен для создания необходимой мощности на нагрузке во всем диапазоне вырабатываемых частот.

Выходное напряжение усилителя изменяется от нуля до максимума при помощи потенциометра, включенного на его входе.

Напряжение на выходе усилителя измеряется электронным вольтметром, а затем поступает на выходное устройство, которое состоит из аттенюатора и согласующего трансформатора.

Аттенюатор (делитель напряжения) предназначен для ослабления выходного сигнала, т.е. для установки нужной величины выходного напряжения.

Согласующий трансформатор предназначен для изменения выходного сопротивления прибора, т.е. для согласования выходного сопротивления генератора с сопротивлением нагрузки. От схемы выходного устройства зависит выходное сопротивление прибора.

Блок питания преобразует напряжение сети переменного тока в напряжение постоянного тока и обеспечивает питание всех блоков генератора.

Генератор сигналов высокой частоты

вырабатывает синусоидальный сигнал в диапазоне от 140 кГц до 12 МГц (поддиапазоны 140...340, 330...1000 кГц, 1...2,8,2,7...12 МГц). Высокочастотный сигнал может быть промодулирован по амплитуде сигналом как с внутреннего генератора НЧ, так и с внешнего. Генератор СВЧ сигналов используют в производстве измерительных приборов, устройств связи, бытовой техники и разнообразного медицинского диагностического оборудования. Высокочастотные генераторы предназначены для получения электрических колебаний в диапазоне частот от десятков кГц до десятков и даже сотен МГц. Такие генераторы, как правило, выполняют с использованием LC-колебательных контуров или кварцевых резонаторов, являющихся частотоподающими элементами.

Структурная схема генератора высокой частоты представлена на рис. 2.41. Высокочастотные колебания с задающего генератора (ЗГ) усиливаются и модулируются в усилителе (У) и через аттенюатор (АТ) поступают на выход. Обычно генераторы могут работать от ряда модулирующих устройств (МУ), например синусоидального или импульсного генераторов, а также внешнего сигнала. Некоторые генераторы имеют частотную модуляцию. В генераторах высокой частоты имеется обычно два вольтметра: В1 – вольтметр несущей частоты; В2 – вольтметр измеряющий глубину модуляции (модулометр).

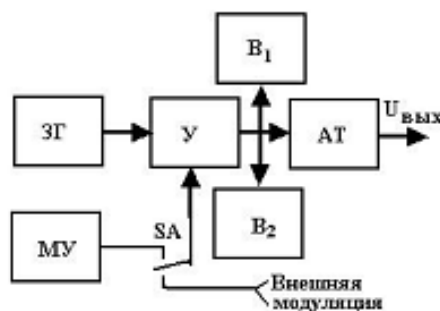


Рисунок 2.41 – Структурная схема измерительного генератора ВЧ

Высокочастотные генераторы выполнены по традиционной и хорошо зарекомендовавшей себя на практике схеме «индуктивной трехточки». Они различаются наличием эмиттерной RC-цепочки, задающей режим работы транзистора по постоянному току. Для создания обратной связи в генераторе от катушки индуктивности делают отвод. Нестабильность работы генераторов высокой частоты на биполярных транзисторах обусловлена заметным шунтирующим влиянием самого транзистора на колебательный контур. При изменении температуры и/или напряжения питания свойства транзистора заметно изменяются, поэтому частота генерации «плавает». Для ослабления влияния транзистора на рабочую частоту генерации следует максимально ослабить связь колебательного контура с транзистором, до минимума уменьшив переходные емкости. Кроме того, на частоту генерации заметно влияет и изменение сопротивления нагрузки. Поэтому крайне необходимо между генератором и сопротивлением нагрузки исключить эмиттерный (истоковый) повторитель.

Для питания генераторов следует использовать стабильные источники питания с малыми пульсациями напряжения.

Генераторы сверхвысоких частот

Генераторы сверхвысоких частот (СВЧ-генераторы) работают в диапазоне частот 1...140 ГГц. По типу выходного соединителя с исследуемой схемой они делятся на коаксиальные и волноводные, причем последние более высокочастотные. Для СВЧ-генераторов характерно одно-диапазонное построение, с небольшим перекрытием по частоте (около октавы — 2 раза). Некалиброванная выходная мощность измерительного СВЧ-генератора —

несколько Вт, а калиброванная достигает нескольких мкВт. Шкалы калиброванных аттенюаторов СВЧ-генераторов градуируют в дБ, а ГСС — в дБ и мкВт.

Генераторы сверхвысоких частот используют для настройки радиоприемных устройств радиолокационных и радионавигационных станций, систем космической связи и спутникового вещания, измерения параметров антенн и т. д. Обобщенная структурная схема генератора СВЧ показана на рис. 3.

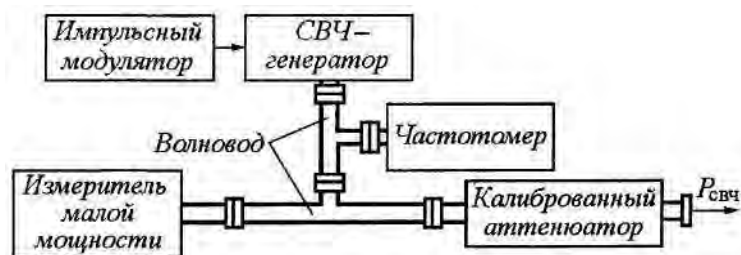


Рисунок 2.42 - Структурная схема генератора СВЧ

Особенностями измерительных генераторов этого вида являются относительная простота электронной части схемы и сложность механических узлов приборов. Схема генератора СВЧ включает собственно СВЧ-генератор, импульсный модулятор, измеритель малой мощности, частотомер и калиброванный аттенюатор. Все высокочастотные узлы генератора соединяются волноводами.

Задающие СВЧ-генераторы измерительных приборов выполняют на отражательных клистронах с внешним или внутренним резонатором, на диодах Ганна, магнетронах, лавинно-пролетных диодах (ЛПД) или на лампах обратной волны (ЛОВ)

В измерительных СВЧ-генераторах необходима тщательная экранировка, так как утечка мощности с ростом частоты возрастает. Провода питания выполняются в виде коаксиальных кабелей со специальным наполнением, хорошо поглощающим энергию СВЧ-колебаний. Повышенные требования предъявляют и к источникам питания, так как активные элементы СВЧ-диапазона чувствительны к нестабильности питающих напряжений.

Генераторы импульсов

Особое место в ряду генераторов специальной формы занимают импульсные (релаксационные) генераторы. Они подразделяются на генераторы периодической последовательности импульсов и генераторы кодовых групп импульсов. Широкое применение находят генераторы периодических последовательностей прямоугольных импульсов.

Для формирования прямоугольных импульсов со стабильными длительностью и частотой следования, крутыми фронтами и плоской вершиной используют блокинг-генераторы и мультивибраторы, работающие автоколебательном и

ждуем режимах. В мультивибраторах применяется кварцевая стабилизация частоты.

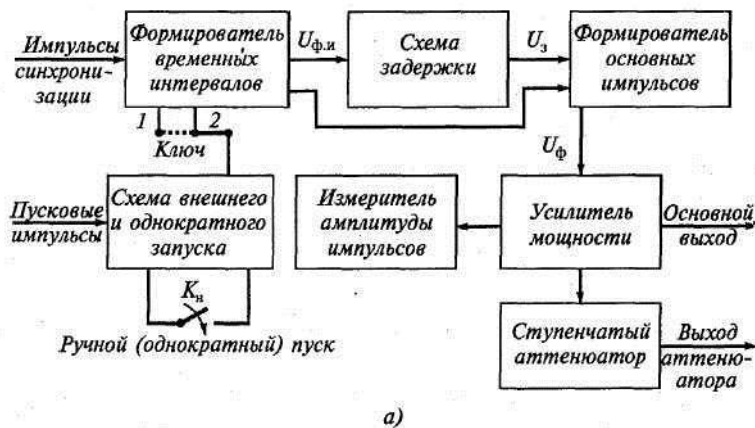


Рисунок 2.43 (а)

Упрощенная структурная схема импульсного генератора и временные диаграммы ее работы показаны на рисунке 2.44. Формирователь временных интервалов может работать в режиме автогенератора (положение ключа 1) или в ждущем режиме (положение ключа 2). Однократный пуск осуществляют нажатием кнопки K_n . Интервал T определяет частоту следования импульсов $f=1/T$. Длительность импульсов определяется временем задержки, как в одноименной схеме: $\tau_n=\tau_з$.

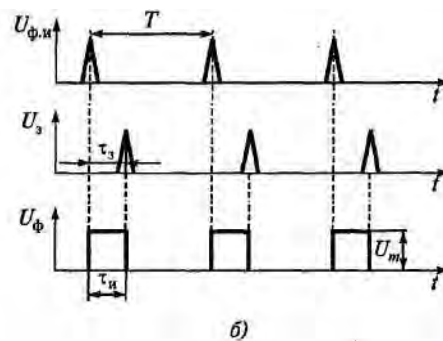


Рисунок 2.44 (а) - Упрощенная структурная схема импульсного генератора;
(б) - временные диаграммы ее работы-

По длительности прямоугольных импульсов импульсные генераторы делятся на микросекундные и наносекундные. Классы точности импульсных генераторов устанавливаются отдельно по амплитуде, частоте следования и длительности импульса. Кроме того, в документации указываются $t_{фн}$ и $t_{ф.сп}$. Классы точности по амплитудному значению устанавливаются как приведенная погрешность, а по остальным параметрам как относительная погрешность от измеряемой величины. Причем погрешности установки временных параметров в

среднем достигают нескольких процентов. Обозначение отечественных генераторов периодических прямоугольных импульсов — Г5.

Параметры реального импульса представлены:

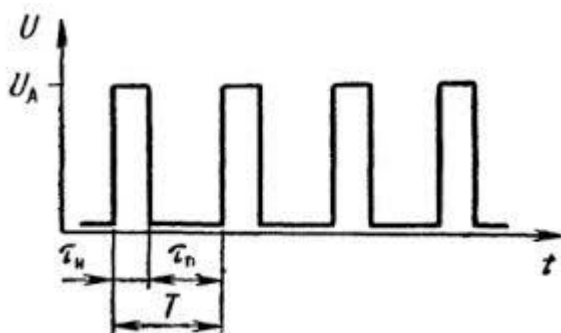


Рисунок 2.45– Параметры идеального прямоугольного импульса

$$Q = \frac{T}{\tau} \quad \text{скважность импульса (55)}$$

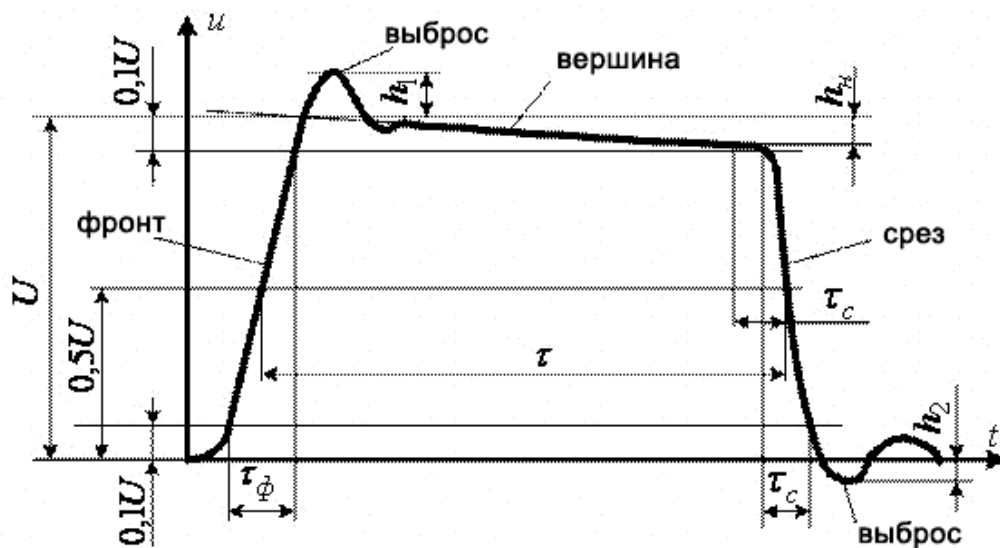


Рисунок 2.46 - Параметры реального прямоугольного сигнала

Амплитуда – максимальное значение напряжения, силы тока или мощности в импульсе.

Длительностью фронта – промежутком времени, за который напряжение в импульсе возрастает от 0,1 до 0,9 от амплитудного значения.

Длительностью среза – промежутком времени, за который напряжение в импульсе убывает от 0,9 до 0,1 от амплитудного значения.

Длительностью импульса – измеряется на уровне 0,1 от амплитудного значения.

Активной длительностью импульса – измеряется на уровне 0,5 от амплитудного значения.

Современные генераторы сигналов специальной формы (Гб) относятся к универсальным измерительным приборам с широким частотным диапазоном, большим числом форм выходных сигналов и электронным управлением параметрами сигналов. В ряде случаев эти генераторы частично или полностью заменяют низкочастотные, в том числе инфранизкочастотные, высокочастотные и импульсные генераторы.

Генераторы шумовых сигналов

Шумовым сигналом называется совокупность одновременно существующих электрических колебаний, частоты и амплитуды которых носят случайный характер. Типичным примером шумового сигнала являются электрические флуктуации. Генераторы шума вырабатывают шумовые измерительные радиотехнические сигналы с нормированными статистическими характеристиками.

Генераторы шума применяются в качестве источников флуктуационных помех при исследовании предельной чувствительности радиоприемных и усилительных устройств, в качестве калиброванных источников мощности при измерении напряженности поля или шумов внеземного происхождения, в качестве имитаторов полного сигнала многоканальной аппаратуры связи, для измерения нелинейных искажений и частотных характеристик радиоустройств с помощью анализатора спектра с постоянной полосой пропускания.

Основным требованием к генераторам шума является равномерность спектрального состава шумового сигнала в возможно большей полосе частот, а практически — от единиц герц до десятков гигагерц. Такой измерительный сигнал позволяет исследовать устройство или систему одновременно во всем диапазоне рабочих частот. В реальных генераторах «белый» шум получить невозможно, но для любого устройства, полоса пропускания которого во много раз меньше спектра шумового сигнала, последний можно считать «белым».

По диапазону генерируемых частот генераторы шума делятся на низкочастотные (20 Гц — 20 кГц и 15 Гц — 6,5 МГц); высокочастотные (1—600 МГц); сверх высокочастотные (500 МГц — 12 ГГц).

Основной узел шумового генератора — задающий генератор. Его сигналы должны иметь равномерную спектральную плотность мощности по всей требуемой полосе частот (тео-



Рисунок 2.47- Структурная схема Г2

ретически это белый шум), достаточное выходное напряжение (мощность) шумового сигнала; неизменность и воспроизводимость характеристик шума во времени и при изменении внешних влияний; заменяемость после истечения гарантийного срока работы без нарушения выходных параметров генератора. Наибольшее распространение в качестве источников шума получили резисторы, вакуумные и полупроводниковые диоды, фотоэлектронные умножители и газоразрядные лампы.

Таким образом, в задающем генераторе используются физические явления, при которых возникают достаточно интенсивные шумы со статическими характеристиками и параметрами, поддающимися достаточно несложному математическому анализу.

Источники теплового шума

Нагретый проволочный резистор. В качестве образцового источника шума может служить нагретый проволочный резистор. Конструктивно резистор выполняется в виде вольфрамовой спирали, намотанной на керамический каркас, температура которой поддерживается постоянной.

Вакуумный диод, работающий в режиме насыщения, является источником шума вследствие случайного характера процесса термоэлектронной эмиссии.

Болометрический генератор шума. К источникам тепловой шумовой мощности относится и болометрический генератор. Болометр представляет собой вакуумный стеклянный баллон, внутри которого натянута вольфрамовая нить.

Источники теплового шума используются в качестве образцовых генераторов шумовых напряжений, так как расчетные данные хорошо совпадают с практическими результатами.

В шумовых генераторах также применяются фотоэлектронные умножители, газоразрядные трубки, шумовые диоды и т. п.

Газоразрядные источники Газоразрядные генераторы шума. Широкое применение в качестве первичного источника шума в сантиметровом диапазоне волн нашли газоразрядные шумовые трубки (ГШТ) с положительным столбом. Газоразрядные шумовые трубки имеют высокую равномерность спектральной плотности мощности шума в широкой полосе частот, стабильный и относительно высокий уровень мощности, просты в эксплуатации, устойчивы к жестким воздействиям внешней среды и обладают достаточно высокой эксплуатационной надежностью.

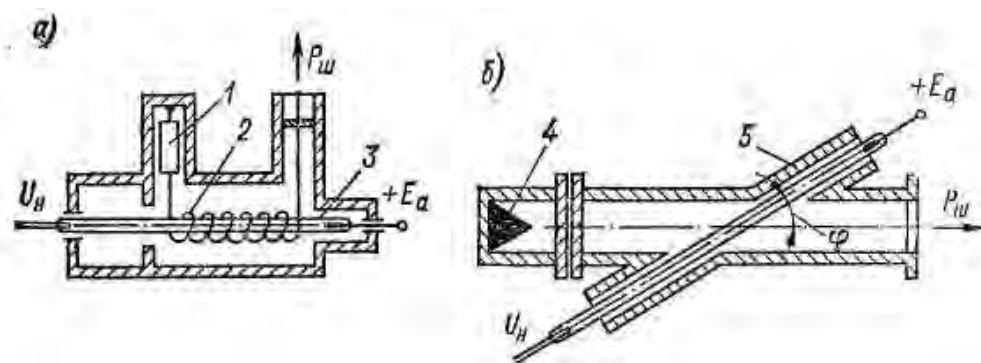


Рисунок 2.48 - Газоразрядный шумовой генератор

Газоразрядный шумовой генератор (рис. 2.48. а) выполнен в виде стеклянной трубки, наполненной инертным газом (аргоном или неоном) до давления от сотен до тысяч паскалей. На одном конце трубки расположен прямонакальный, или подогреваемый катод, на противоположном — анод. Свойство газоразрядных трубок генерировать шумы обусловлено колебаниями электронов в плазме.

Для практического использования шумового излучения положительного столба ГШТ помещают в специальные генераторные секции. В зависимости от диапазона частот и типа трубки могут быть использованы генераторные секции, выполненные на волноводе, коаксиальной или полосковой линии.

Волноводные шумовые генераторы представляют собой отрезок волновода, в центре широкой стенки которого под малым углом ($7... 15^\circ$) помещается ГШТ. Наклонное положение трубки в волноводе обеспечивает при разряде равномерное внесение потерь на достаточной длине линии, благодаря чему достигается удовлетворительное согласование ГШТ с линией передачи в широком диапазоне частот. Разработка генераторов шума в коротковолновой части миллиметровых волн сопряжена с большими трудностями из-за малого диаметра и толщины стенок ГШТ. В связи с этим шумовые генераторы миллиметрового диапазона изготавливают пакетированными без возможности в процессе эксплуатации производить смену ГШТ.

В длинноволновой части сантиметровых волн из-за сложности согласования трубки с линией передачи обычно применяют коаксиальные или полосковые генераторы шума.

В коаксиальных генераторах шума ГШТ помещают внутри ленточной спирали, которая является внутренним проводником коаксиальной линии. Внешним проводником служит цилиндрическая поверхность корпуса линии. Форма спирали (зазор между соседними витками, диаметр спирали) определяется исходя из требуемого волнового сопротивления, связи трубки с линией передачи, диапазона частот.

Полосковые генераторы шума представляют собой симметричную полосковую линию, вдоль оси которой помещается газоразрядная шумовая трубка. Интенсивность излучения ГШТ определяется главным образом электрон-

ной температурой плазмы. Потери, вносимые генератором шума в тракт, в выключенном состоянии в основном определяются потерями в стенке трубки, линии передачи и в присоединительных элементах.

На практике часто требуется использовать генераторы шума в импульсном режиме. Длительность импульса горения ГШТ ограничена снизу длительностью переходного процесса в газовом разряде. В зависимости от допустимых искажений минимальная длительность модулирующего импульса может составлять 0,2... 1 мс.

Стандарты и синтезаторы частоты

Как уже отмечалось, для создания стабильного по частоте и фазе сигнала используют кварцевые генераторы, имеющие высокую стабильность частоты. Кварцевые стандарты частоты имеют более высокие показатели по стабильности и их нестабильность частоты порядка $10^{-8} \dots 10^{-9}$.

Еще лучшую стабильность частоты (нестабильность порядка 10^{-12}) обеспечивают квантомеханические стандарты частоты, действие которых основано на использовании электромагнитного излучения атомов определенного химического элемента при переходе их из одного энергетического состояния в другое. На этой основе созданы водородные, цезиевые и рубидиевые генераторы. Все перечисленные кварцевые генераторы и стандарты частоты обеспечивают формирование высокостабильных сигналов только на нескольких (порядка 3) значениях частот. При необходимости иметь большой набор генерируемых частот используют кварцевые синтезаторы частот.

Синтезаторами частоты называют специальные генераторы гармонических напряжений с дискретной перестройкой частоты и стабильностью, равной стабильности частоты лучших кварцевых генераторов. Они обеспечивают синусоидальную форму, высокую спектральную «чистоту», большую точность установки и возможность программной перестройки частоты. Синтезаторы позволяют получать напряжения фиксированных частот с дискретностью (сеткой частот) до сотых долей герц. По точности установки и стабильности частоты синтезаторы превосходят обычные измерительные генераторы с плавной перестройкой частоты. Они легко сопрягаются с автоматизированными информационно-измерительными системами.

Кварцевые синтезаторы частоты — это многочастотные генераторы гармонических напряжений с дискретной перестройкой частоты. Упрощенная структурная схема аналогового синтезатора частоты дана на рисунке 2.49. В нее входят кварцевый генератор частоты f_0 , устройство формирования опорных частот f_1, \dots, f_n , устройство переключения, подключающее на выход сигнал нужной частоты, цифровое отсчетное и выходное устройства.

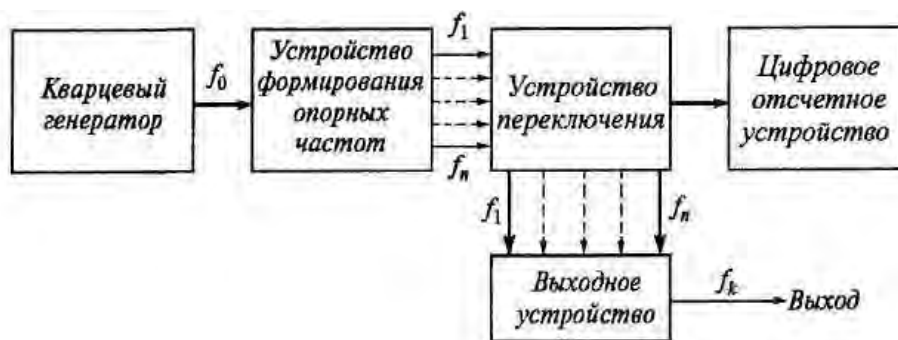


Рисунок 2.49 - Упрощенная структурная схема аналогового синтезатора частоты

В современных высококачественных широкодиапазонных измерительных генераторах требование высокой стабильности частоты и возможности ее быстрой перестройки являются трудно совместимыми.

Поэтому при разработке синтезаторов частоты переходят к дискретному перекрытию частотного диапазона, при котором допускается генерирование сигналов на любой из множества частот, следующих друг за другом с определенным фиксированным интервалом, называемым шагом дискретной сетки.

Тема 2.3. Исследование формы и параметров сигнала

Электронный осциллограф является основным и широко распространенным прибором для наблюдения электрических сигналов и измерения их параметров. Осциллограф позволяет «видеть» исследуемый сигнал в виде функции времени.

На сегодня существует широкий выбор различных типов осциллографов как отечественных, так и многочисленных мировых производителей: от классических аналоговых до ряда современных цифровых (запоминающие, «виртуальные», люминофорные, портативные, смешанных типов сигналов).

Самые важные критерии при выборе осциллографа – это параметры. Главными из них являются: полоса пропускания частот, частота дискретизации, число каналов, глубина памяти. Для ускорения правильного выбора осциллографа и избегания некоторых обычных ошибок рекомендуется пройти следующие шаги.

Первыми основными факторами при выборе осциллографа должны быть: отрасль использования прибора и рабочая среда (лаборатория, офис, «полевые» условия). Следующими основными вопросами должны стать: определить требования к полосе пропускания частот. Полоса частот, как всегда, определяется характеристиками наблюдаемого сигнала и необходимой точностью измерения.

Существуют различные типы осциллографов:

- универсальные – позволяют исследовать разнообразные электрические сигналы (C1);
- скоростные – предназначенные для исследования быстропротекающих процессов (C7);
- стробоскопические – предназначены для исследования повторяющихся кратковременных процессов (C7);
- запоминающие способны сохранять и воспроизводить в течении длительного времени изображение сигнала после исчезновения его на входе (C8).

Специальные осциллографы – осциллографы целевого назначения: телевизионные, для исследования ВАХ полупроводниковых приборов и т. д.

По числу одновременно наблюдаемых на экране сигналов различают однолучевые, многолучевые многоканальные, многофункциональные.

Основная деталь электронного осциллографа – электронно-лучевая трубка, напоминающая по форме телевизионный кинескоп. Экран трубки покрыт изнутри люминофором – веществом, способным светиться под "ударами" электронов. Чем больше поток электронов, тем ярче свечение той части, куда они попадают.

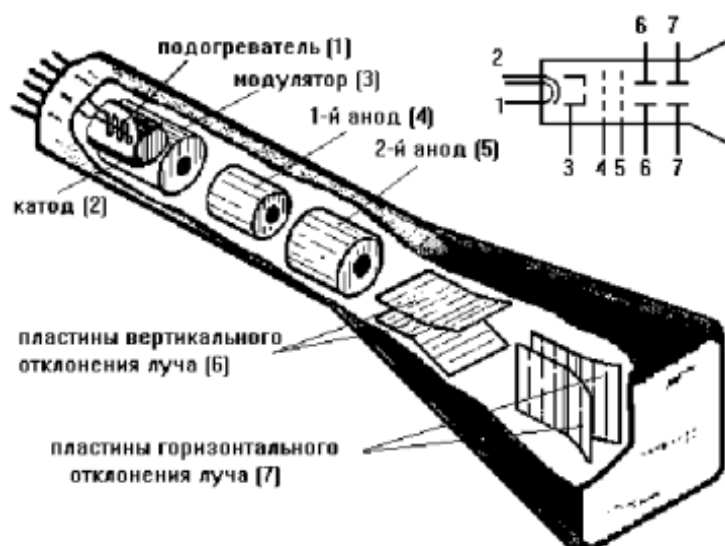


Рисунок 2.50 - Электронно-лучевая трубка

Испускаются же электроны так называемой электронной пушкой, размещенной на противоположном от экрана конце трубки. Она состоит из подогревателя (нити накала) и катода. Между "пушкой" и экраном размещены модулятор – регулирующий поток летящих к экрану электронов, двух анодов – создающих нужное ускорение пучку электронов и его фокусировку, и двух пар пластин, с помощью которых электроны можно отклонять по горизонтальной (X) и вертикальной (Y) осям.

Экран электронно-лучевой трубки будет светиться лишь при подаче на ее электроды определенных напряжений. На нить накала обычно подают переменное напряжение, на управляющий электрод (модулятор) постоянное, отрицательной полярности, по отношению к катоду, на аноды – положительное, причем на первом аноде (фокусирующем) напряжение значительно меньше, чем на втором (ускоряющем). На отклоняющие пластины подается как постоянное напряжение, позволяющее смещать пучок электронов в любую сторону, относительно центра экрана, так и переменное, создающее линию развертки той или иной длины, а также "рисующей" на экране форму исследуемых колебаний.

Чтобы представить, как же получается на экране изображение колебаний, изобразим условно экран трубки в виде окружности и поместим внутри нее отклоняющие пластины. Если подвести к горизонтальным пластинам X_1 и X_2 пилообразное напряжение, на экране появится светящаяся горизонтальная линия – ее называют линией развертки или просто разверткой. Длина ее зависит от амплитуды пилообразного напряжения.

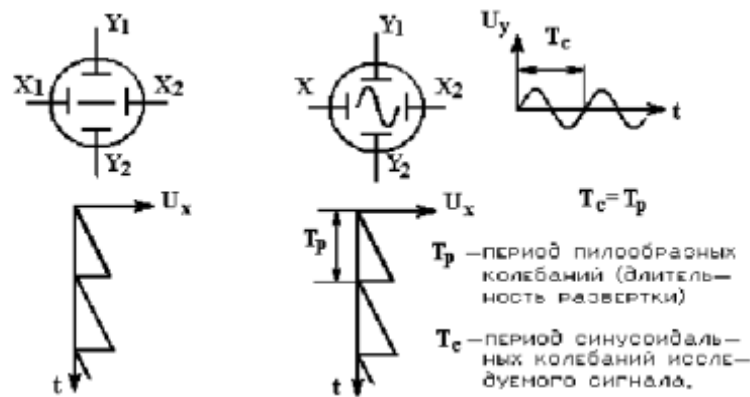


Рисунок 2.51- Принцип создания изображения на экране ЭЛТ

Если теперь одновременно с пилообразным напряжением, поданным на пластины X1 и X2, подать на другую пару пластин (вертикальных – Y1, Y2), например, переменное напряжение синусоидальной формы, линия развертки в точности "изогнется" по форме синусоидального и пилообразного колебаний, на экране будет изображение одной "синусоиды". При неравенстве же периодов на экране появится столько полных колебаний, сколько периодов их укладывается в периоде колебаний пилообразного напряжения развертки. В осциллографе есть регулировка частоты развертки, с помощью которой добиваются нужного числа наблюдаемых на экране колебаний исследуемого сигнала. Упрощенная структурная схема осциллографа приведена на рисунке 2.52.

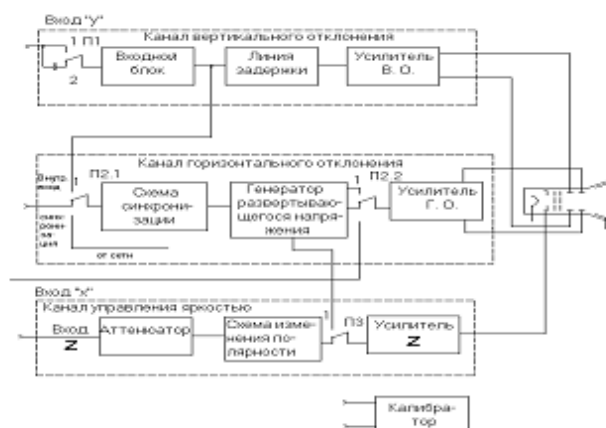


Рисунок 2.52 - Упрощенная структурная схема осциллографа

Электронно-лучевая трубка (ЭЛТ) - определяет принцип действия прибора, и от ее характеристик в значительной мере зависят параметры и возможности применения осциллографа в целом. В осциллографах используют, главным образом, ЭЛТ с электростатическим управлением лучом.

Принцип наблюдения формы напряжения на экране осциллографической трубки в общих чертах можно представить следующим образом. Исследуемое напряжение является функцией времени, отображаемой в прямоугольных координатах графиком $y = f(t)$. Две пары пластин ЭЛТ отклоняют электронный луч в двух взаимно перпендикулярных направлениях, которые можно рассматривать как координатные оси. Поэтому для наблюдения на экране ЭЛТ исследуемого напряжения необходимо, чтобы луч отклонялся по горизонтальной оси пропорционально времени, а по вертикальной оси - пропорционально исследуемому напряжению (в каждый момент времени). С этой целью к горизонтально - отклоняющим пластинам подводят пилообразное напряжение, которое заставляет луч перемещаться по горизонтали с постоянной скоростью слева направо и быстро возвращаться обратно. Расстояние, проходимое лучом вдоль горизонтальной оси, получается пропорциональным времени.

Исследуемое напряжение подается на вертикально - отклоняющие пластины и, следовательно, положение луча в каждый момент времени однозначно соответствует значению исследуемого сигнала в этот момент. За время действия пилообразного напряжения луч вычерчивает кривую исследуемого сигнала. Наблюдаемое на экране изображение называют осциллограммой.

Кратко рассмотрим функции, выполняемые основными узлами осциллографа. Канал вертикального отклонения y , или канал сигналов, служит для преобразования напряжения исследуемого сигнала в соответствующее ему вертикальное отклонение луча. Он состоит из входного устройства, усилителя вертикального отклонения и вертикально отклоняющих пластин ЭЛТ.

Входное устройство состоит из аттенюатора, позволяющего ослабить исследуемый сигнал в целое число раз и согласовать входное сопротивление канала сигнала с волновым сопротивлением кабеля, по которому поступает исследуемый сигнал; катодного повторителя, устраняющего влияние канала вертикального отклонения на источник измеряемого сигнала и позволяющего получить высокое входное сопротивление; линии задержки (в импульсных осциллографах), обеспечивающей подачу исследуемого импульса на вертикально - отклоняющие пластины с задержкой относительно начала горизонтально - отклоняющего напряжения, что дает возможность хорошо наблюдать фронт импульса.

Усилитель вертикального отклонения усиливает исследуемый сигнал, подаваемый со входного устройства, до уровня, позволяющего получить достаточное вертикальное отклонение луча (высоту изображения сигнала) на экране ЭЛТ.

Канал горизонтального отклонения x или канал развертки, служит для создания и передачи напряжения, вызывающего горизонтальное перемещение луча, пропорциональное времени. Вторая функция этого канала - усиление сигнала, синхронизирующего напряжение горизонтального отклонения. В его состав входят: генератор напряжения горизонтального отклонения; усилитель, усиливающий вырабатываемое генератором напряжение до уровня, необходимого для отклонения луча в горизонтальном направлении; горизонтально - отклоняющие пластины; схема синхронизации, предназначенная для

преобразования, усиления и регулирования амплитуды, а также изменения полярности синхронизирующих напряжений. Иногда на входе канала горизонтального отклонения имеется аттенюатор.

Канал управления яркостью z предназначен для передачи со входа z на управляющий электрод ЭЛТ сигналов, модулирующих яркость свечения. Обычно он состоит из усилителя, который, помимо усиления, позволяет изменять полярность модулирующего напряжения. В этот же канал чаще всего подается напряжение от калибровочного генератора меток времени.

Калибраторы применяются для измерения параметров исследуемого сигнала. Как правило, ими являются устройства для измерения напряжения и длительности.

Блок питания состоит из двух выпрямителей - высоковольтного, питающего высоким напряжением ЭЛТ, и низковольтного, питающего все узлы осциллографа и низковольтные электроды трубки, а также схемы регулировок напряжений, управляющих яркостью, фокусировкой и положением светящегося пятна на экране ЭЛТ.

Виды разверток и их применение

Для воспроизведения формы исследуемого сигнала на экране ЭЛТ используется его развертка во времени. Развертка - это линия на экране осциллографа, которую вычерчивает луч в отсутствии сигнала. В осциллографах используют линейную развертку. Линейная развертка может быть однократной, непрерывной и ждущей.

Однократная развертка применяется для наблюдения одиночных и непериодических процессов.

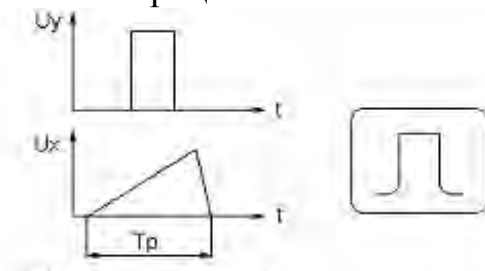


Рисунок 2.53 – Однократная развертка

Непрерывная линейная развертка применяется для исследования периодически повторяющихся сигналов. Напряжение развертки вырабатывается непрерывно. Период развертки следует выбирать так, чтобы изображение на экране было неподвижным. Это достигается выполнением следующего условия: отношение периода развертки T_p к периоду исследуемого сигнала T кратно целому числу: $n = T_p/T$, где $n=1, 2, 3, 4 \dots$

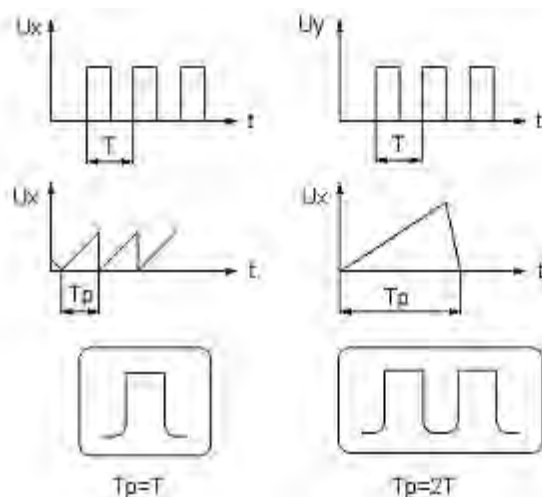


Рисунок 2.54 – Непрерывная развертка

Кратность развертки периоду повторения сигнала обеспечивается устройством синхронизации осциллографа. Виды синхронизации: внутренняя, внешняя и от сети. Ждущая линейная развертка применяется для исследования непериодических сигналов, а также импульсов малой длительности с большим периодом повторения. Сущность ждущей развертки заключается в том, что генератор развертки ждет, когда на вход осциллографа поступит исследуемый сигнал. Ввиду того, что импульсы исследуемого сигнала очень короткие, то во избежание искажения переднего фронта, необходимо, чтобы сигнал развертки поступил на пластины ЭЛТ чуть раньше, чем исследуемый сигнал. Временной сдвиг между этими сигналами осуществляет линия задержки.

Круговая (эллиптическая) развертка. В этом случае линия развертки представляет собой окружность или эллипс. Для создания круговой развертки используется генератор синусоидального напряжения, сигнал с которого подается на пластины X непосредственно, а на пластины Y - со сдвигом 90° . Равенство амплитуд напряжений на пластинах дает круговую развертку; при неравенстве линия развертки представляет собой эллипс.

Скоростные осциллографы

Осциллографы широкого применения непригодны для исследования импульсов с малой длительностью и небольшой высотой. Причина заключается в том, что полоса частот, пропускаемая каналом вертикального отклонения этих осциллографов, недостаточна для неискаженного воспроизведения формы импульса, особенно его фронта. Кроме того, конечное время пролета электронов и наличие паразитных параметров отклоняющих пластин и их выводов вызывают дополнительные частотные ограничения.

В скоростных осциллографах используются сверхширокополосные усилители с распределенным усилением и электронно-лучевые трубки с отклоняющими системами, работающими по принципу бегущей волны. Это позволяет получить полосу

весьма короткой длительности (от единиц наносекунд до десятых и сотых долей наносекунды). Основным узел таких осциллографов – ЭЛТ типа бегущей волны (пропускания в несколько гигагерц. Однако такие осциллографы имеют малую чувствительность, очень сложны, дороги и неудобны в эксплуатации.

Скоростные осциллографы (осциллографы на трубках бегущей волны) предназначены для исследования однократных и редко повторяющихся импульсных сигналов, и процессов ЭЛТБВ) – обеспечивает усиление поступающих на ее вход исследуемых сигналов и отклонение электронного луча под действием этих усиленных сигналов. Отклоняющее устройство ЭЛТБВ при этом может представлять собой распределенную плоскую двух проводниковую «меандровую» замедляющую систему (рис. 2.55).

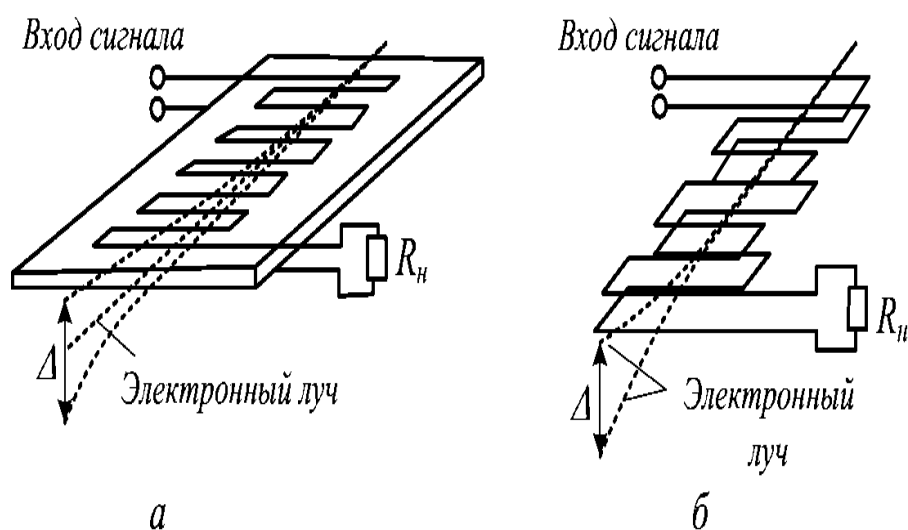


Рисунок 2.55 - Несимметричная (а) и симметричная (б) отклоняющие системы ЭЛТБВ: Δ – отклонение луча; R_n – согласованная нагрузка

Отклоняющее электромагнитное поле сигнала в этой системе представляет собой бегущую волну, которая поглощается в согласованной нагрузке R_n на конце системы. Электронный луч, распространяясь вдоль оси системы синхронно с этим электромагнитным полем, взаимодействует с ним. Этим и достигается усиленное отклонение луча Δ на конце системы. Существуют и другие виды замедляюще-отклоняющих систем. Замедляющая система имеет стандартное волновое сопротивление $\rho = R_n$. Скорость электромагнитной волны регулируется шагом меандра. Для отклонения по горизонтали используют обычные отклоняющие пластины. Чувствительность к отклонению (величина, обратная коэффициенту отклонения) зависит от длины замедляющей системы и от режима трубки и составляет несколько значений ширины луча на 1 В отклоняющего напряжения. Для повышения чувствительности ЭЛТБВ применяют специальные квадрупольные линзы. Ширина луча в ЭЛТБ обычно составляет десятые доли миллиметра. Рабочая полоса частот скоростных осциллографов, не имеющих, как правило, усилителей на входе, целиком определяется рабочей полосой

согласованной распределенной отклоняющей системы и составляет обычно несколько гигагерц. Одна из особенностей применения сверхширокополосных скоростных осциллографов на ЭЛТБВ – синхронизация от внутреннего источника в осциллографе, запускаемого внешним сигналом. Только в этом случае реализуется наибольшая рабочая полоса осциллографа. При синхронизации исследуемым сигналом возникает необходимость компенсации начальной задержки развертки, требующей применения сверхширокополосных задерживающих устройств, как правило, ограничивающих полосу пропускания.

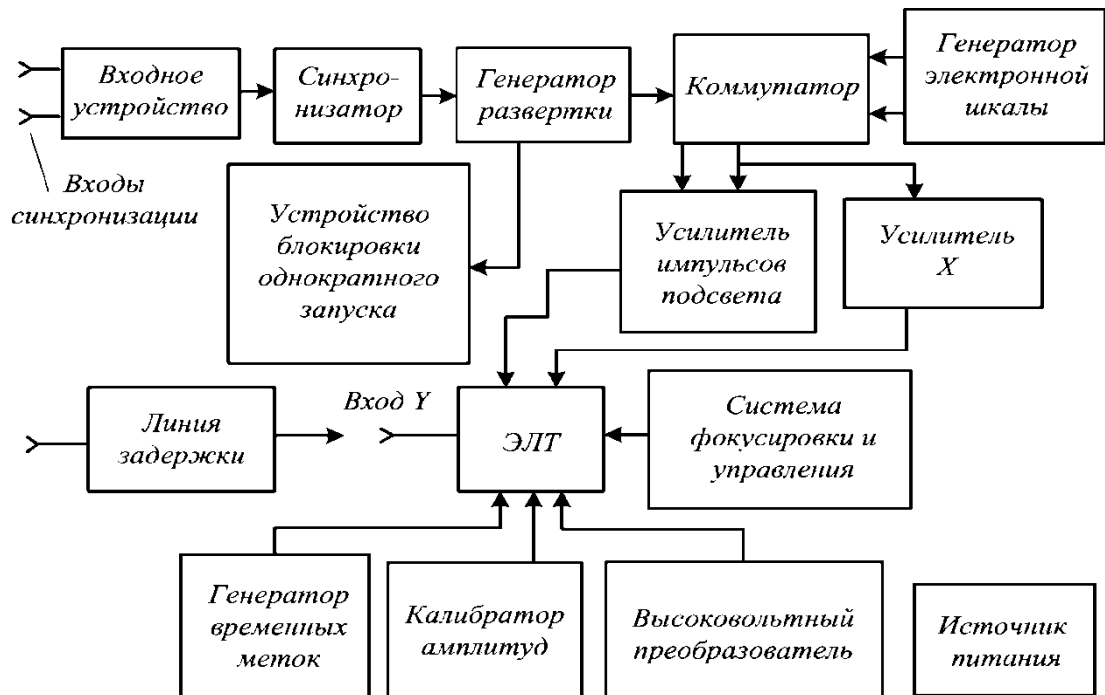


Рисунок 2.56 – Структурная схема осциллографов на ЭЛТБВ

К специфическим параметрам осциллографов на ЭЛТБВ относятся:

- скорость записи сигнала, характеризующая способность осциллографа к воспроизведению на экране сверхскоростных процессов при однократном «пробеге» луча и составляющая иногда свыше 3 тыс. км/с;
- минимальная начальная задержка развертки, определяющая требования к компенсирующей линии задержки, обеспечивающей исследование сигналов в режиме синхронизации от самого сигнала.

Таким образом, с помощью универсальных и скоростных осциллографов невозможно проникнуть в область наносекундных импульсов и сверхвысокочастотных колебаний. Для их исследования предложен стробоскопический метод осциллографирования, на основе которого созданы осциллографы на обычных электронно-лучевых трубках без широкополосных усилителей, сочетающие высокую чувствительность и широкую эквивалентную полосу пропускания.

Стробоскопические осциллографы

Стробоскопическим называется осциллограф, использующий для получения изображения формы сигнала упорядоченный (или случайный) отбор проб мгновенных значений исследуемого сигнала и осуществляется его временное преобразование. Принцип работы стробоскопического осциллографа основан на измерении мгновенных значений повторяющихся сигналов с помощью коротких стробирующих импульсов и базируется на стробоскопическом эффекте. Он позволяет обеспечить широкую полосу пропускания и высокую чувствительность осциллографа.

На рис. 2.57 представлена структурная схема одноканального стробоскопического осциллографа.

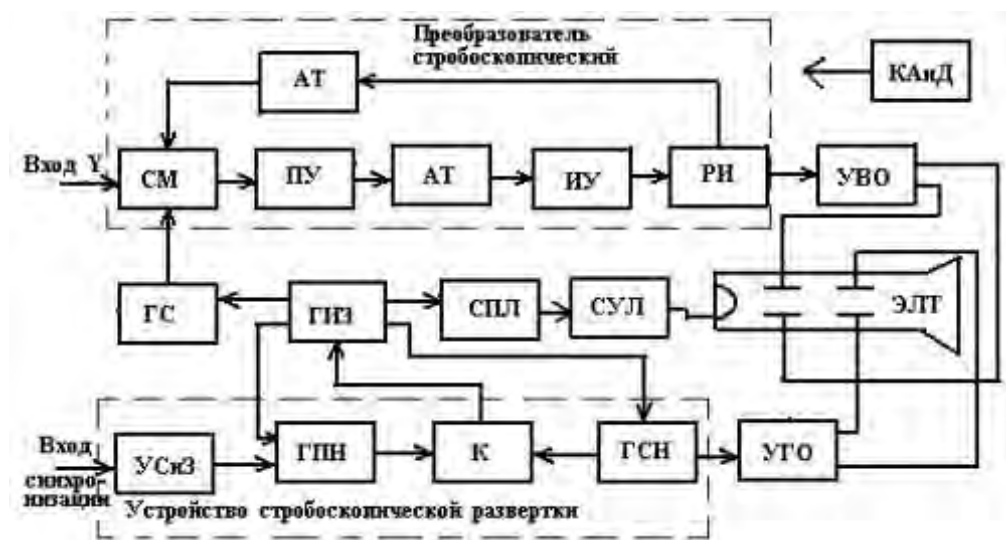


Рисунок 2.57 – Структурная схема одноканального стробоскопического осциллографа

Временные диаграммы работы узлов стробоскопического осциллографа (рис. 2.57) показаны на рис. 2.58.

Исследуемый сигнал (рис 2.58, а) поступает стробоскопический смеситель (СМ), содержащий диодную ключевую схему и устройство памяти. Осциллограф запускается синхронизирующими сигналами, опережающими исследуемый сигнал на время задержки стробоскопической развертки. Это могут быть внешние импульсы, внешнее синусоидальное напряжение или сам исследуемый сигнал.

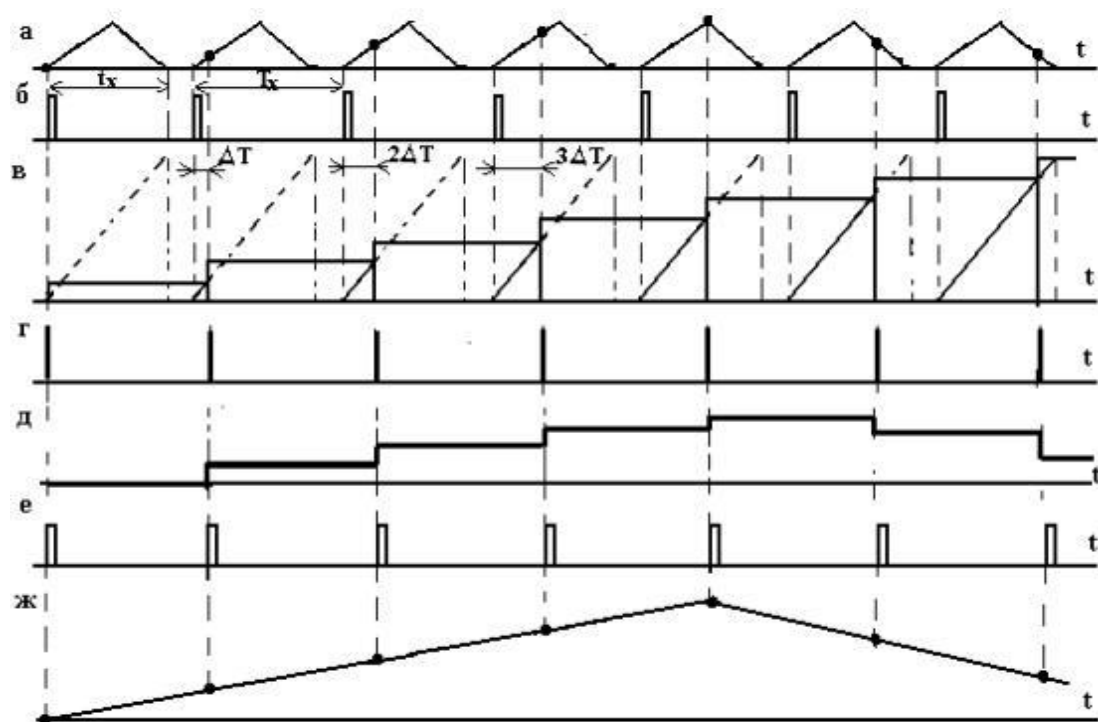


Рисунок 2.58 - Исследуемые сигналы

Устройство синхронизации (УСиЗ) формирует импульсы запуска, частота повторения которых либо равна частоте исследуемого сигнала (рис. 2.58, б), либо в m раз меньше. Импульсы запуска управляют работой схемы, в которую входят генератор пилообразного напряжения (ГПН), генератор ступенчатого напряжения (ГСН) и компаратор (К). ГПН и ГСН формируют линейно и ступенчато нарастающие сигналы (рис. 2.58, в), которые подаются на входы компаратора. Длительность ГПН равна длительности t_x исследуемого сигнала, а длительность ГСН в $k_{ТР}$ ($k_{ТР} = nT_C/t_x = T_C/\Delta T$ – коэффициент трансформации масштаба времени; $T_C = T_x + \Delta T$; n – число точек считывания) больше. В момент равенства сигналов ГПН и ГСН срабатывает компаратор (К) и своим выходным сигналом запускает генератор импульсов запуска (ГИЗ), формирующий импульсы с крутым фронтом (рис. 2.58, б). Они запускают генератор строб-импульсов (ГС), ГСН и срывают колебания ГПН. После каждого импульса ГИЗ, напряжение на ГСН ступенчато повышается на постоянную величину, а в промежутках между импульсами остается постоянным (рис. 2.58, в). Этот процесс повторяется до уровня, определяемого величиной $k_{ТР}$, после чего ГСН автоматически сбрасывается и начинается новый цикл нарастания напряжения ГСН.

Строб-импульс (рис. 2.58, г) запускает диодно-ключевую схему СМ и устройство памяти запоминает мгновенное значение исследуемого сигнала, соответствующее моменту поступления строб-импульса. Расширенные и промодулированные огибающей исследуемого сигнала импульсы с выхода СМ передаются по цепочке, состоящей из предварительного усилителя (ПУ), аттенюатора (АТ) и импульсного усилителя (ИУ), который расширяет импульсы выборок. Импульсный сигнал с выхода ИУ поступает на расширитель импульсов (РИ), где превращается в аналоговый сигнал за счет расширения импульса до

периода повторения (рис. 2.58, д). Это напряжение усиливается в усилителе вертикального отклонения (УВО) и подается на пластины Y ЭЛТ. Для повышения четкости изображения плоские участки напряжения подсвечиваются импульсами схемы подсвета луча (СПЛ), управляемой ГИЗ (рис. 2.58, е). Изображение исследуемого сигнала на экране ЭЛТ будет иметь вид светящихся точек (черточек), равномерно отстоящих друг от друга (рис. 2.58, ж). Напряжение отрицательной обратной связи с РИ на СМ автоматически регулирует положение рабочей точки на ВАХ диода смесителя, обеспечивая высокую линейность преобразования.

Так как стробирование исследуемого сигнала приводит к дискретизации измерительной информации, необходимо знать минимально необходимое число точек считывания сигнала n_{MIN} . Значение n_{MIN} может быть оценено по формуле $n_{\text{MIN}} = 2f_{\text{MAX}}t_{\text{X}}$, где f_{MAX} – верхняя граничная частота спектра U_{X} . Для увеличения можно считывать после пропуска некоторого числа периодов сигнала. В этом случае $T_{\text{C}} = mT_{\text{X}} + \Delta t$. Как и в известных механических и электрических стробоскопах, происходит кажущееся замедление быстропротекаемого процесса, т.е. трансформируется масштаб времени. Поступающие на вход стробоскопического осциллографа сигналы последовательно измеряются (считываются) в точках при помощи коротких стробирующих импульсов, длительность которых $t_{\text{стр}}$. Последовательность измерения достигается путем автоматического сдвига во времени стробимпульса на интервал Dt в пределах длительности сигнала t или в пределах его периода следования T_{C} . Интервал Dt называется шагом считывания; его длительность зависит от числа точек считывания, $Dt = t/n = T_{\text{C}}/n$. Очевидно, что длительность строб - импульса должна быть много меньше шага считывания: $t_{\text{стр}} \ll Dt$.

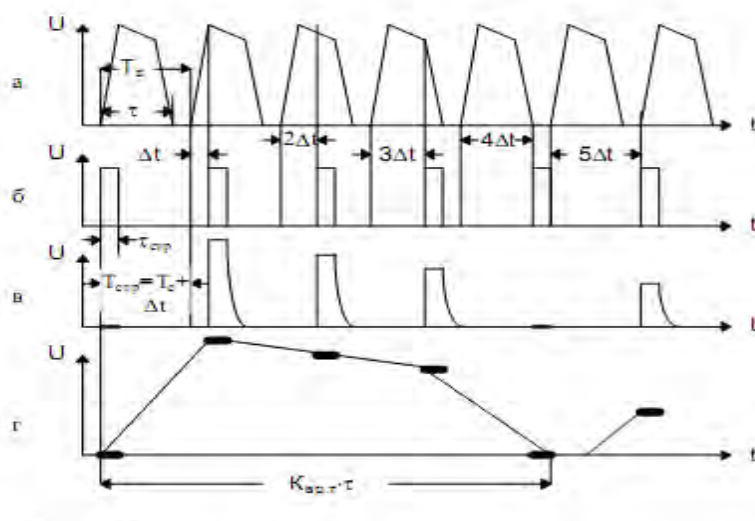


Рисунок 2.59 - Принцип стробоскопического осциллографирования.

Сигнал и строб - импульсы (Рис.2.59, а, б) подаются в смеситель осциллографа, на выходе которого возникают импульсы напряжения, высота

которых пропорциональна мгновенным значениям исследуемого сигнала в точках измерения (считывания) (Рис. 2.59, в). Огибающая этих импульсов (Рис. 2.59, г) повторяет форму исследуемого сигнала.

Таким образом, исследуемый сигнал «растягивается» во времени в несколько раз и во столько же раз расширяется эквивалентная полоса пропускания осциллографа. Для обеспечения автоматического сдвига стробирующих импульсов их период следования должен отличаться от периода следования сигнала точно на шаг считывания $T_{\text{стр}} = T_c + Dt$. Считывание можно производить не в каждый период сигнала, а через m периодов, в этом случае период следования строб - импульса должен быть равен $T_{\text{стр}} + m \times T_c + Dt$, где $m = 1, 2, 3, \dots$.

Промышленность выпускает несколько типов одно - и двухлучевых стробоскопических осциллографов с эффективной полосой пропускания 0 - 2 ГГц и 0 - % ГГц, а также стробоскопические приставки, расширяющие частотные возможности универсальных осциллографов. В ближайшее время благодаря прогрессу в производстве быстродействующих полупроводниковых приборов и интегральных узлов ожидается расширение эффективной полосы до 15 - 20 ГГц.

Запоминающие осциллографы

Запоминающие трубки. Эти трубки содержат те же элементы, что и ЭЛТ широкого применения. Это позволяет использовать их в режиме осциллографирования без запоминания. Дополнительно запоминающие ЭЛТ оснащают узлом памяти, узлом воспроизведения и вспомогательными электродами. Узел памяти содержит мишень — сетку, покрытую слоем диэлектрика, и коллектор — более крупноструктурную сетку, расположенную поверх мишени. Запись изображения осуществляется электронным лучом высокой энергии (записывающий луч). Электроны луча оседают на мишени, причем количество заряда пропорционально току луча. При перемещении луча на мишени создается, потенциальный рельеф, повторяющий форму осциллограммы. После прекращения действия сигнала потенциальный рельеф мишени сохраняется длительное время (особенно при отключенном питании ЭЛТ).

Для наблюдения записанного изображения служит узел воспроизведения, состоящий из катода с подогревателем, модулятора и электродов коллиматора. Катод создает поток электронов малой энергии, плотность которого регулируется модулятором. Коллиматор формирует широкий пучок, равномерно облучающий мишень. Потенциалы мишени и коллектора подобраны таким образом, чтобы при отсутствии записанного изображения медленные электроны воспроизводящего пучка не могли пройти через мишень. В этом случае свечение экрана минимально. При наличии

потенциального рельефу в этих треках мишени часть электронов проходят к экрану, вызывая его свечение. На экране появляется осциллограмма, повторяющая форму потенциального рельефа мишени. Стирание записи производится подачей на мишень положительного импульса, выравнивающего потенциал мишени.

Современные запоминающие ЭЛТ имеют скорость записи от 5-10 до 4000 км/с. Остальные параметры запоминающих ЭЛТ не отличаются от параметров ЭЛТ широкого применения. Перспективным типом отображающего устройства, применяемого в осциллографах с аналого-цифровым преобразованием исследуемого сигнала, является матричная индикаторная панель. Она представляет собой совокупность отдельных дискретных излучателей (газоразрядных, твердотельных и пр.).

В настоящее время серийно выпускаются матричные индикаторные панели с числом ячеек 100×100 , что обеспечивает разрешающую способность 1 лин/мм. Экспериментальные образцы содержат 1000×1000 ячеек, что обеспечивает разрешающую способность, сравнимую с лучшими образцами ЭЛТ.

Запоминающий осциллограф - это осциллограф, который при помощи специального устройства, например ЭЛТ с памятью или электронного ЗУ, позволяет сохранять на определенное время исследуемый сигнал и при необходимости представлять его для однократного или многократного визуального наблюдения или для дальнейшей обработки

Универсальные осциллографы (с не запоминающей трубкой, широкой полосой пропускания) позволяют исследовать однократные сигналы, однако детальное изучение осциллограмм возможно лишь при фотографировании с дальнейшей обработкой фотопленки и ее просмотром с низкой точностью определения, амплитудных и временных параметров сигналов. Для непосредственного наблюдения и детального исследования применяют запоминающие осциллографы.

Структурные схемы аналоговых ЗО по сути не отличаются от не запоминающих, они имеют несколько узлов для управления трубкой с памятью. Основу АЗО составляет специальная запоминающая электронно-лучевая трубка (ЗЭЛТ) с видимым изображением, обладающая способностью преобразовывать электрические сигналы в электрические заряды, сохранять их в течение определенного времени и затем воспроизводить. Запоминающая ЭЛТ содержит два электронных прожектора – записывающий и воспроизводящий с элементами запоминания – и экран, покрытый люминофором.

На рис. 2.60 показана схематическая конструкция ЗЭЛТ. Записывающий прожектор (электронная пушка) 1, отклоняющие пластины 4 работают так же, как и в обычных ЭЛТ. Напряжения, поданные на пластины Y, X, управляют потоком электронов только записывающего прожектора, т. е. воздействуют на записывающий луч. Запоминание осуществляется специальной мишенью 6, состоящей из мелкоструктурной металлической сетки (около 10000 ячеек на 1 см^2) и слоя диэлектрика, способного излучать большое количество вторичных электронов при попадании на него электронного записывающего луча. Между сеткой и диэлектриком проложена тончайшая изолирующая прокладка, препятствующая попаданию выбитых электронов на сетку. Благодаря этой

прокладке сетка и слой диэлектрика образуют подобие конденсатора. В непосредственной близости от мишени располагаются коллекторная сетка (коллектор) 5 с более крупной структурой и ионный отражатель 8.

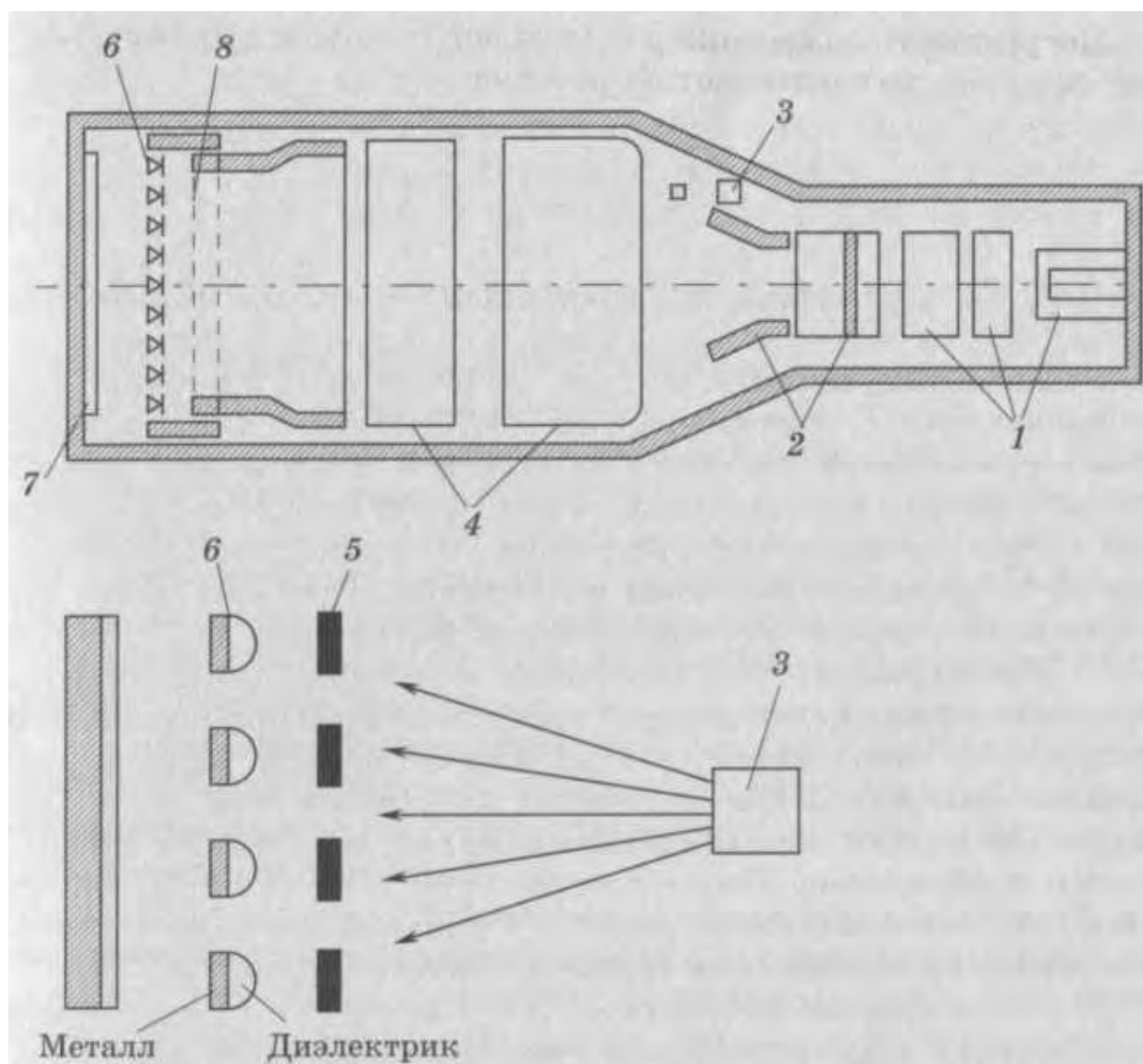


Рисунок 2.60 - Конструкция ЗЭЛТ: 1 – электронная пушка; 2 – кольцевые электроды; 3 – прожектор; 4 – отклоняющие пластины; 5 – коллекторная сетка; 6 – мишень; 7 – экран; 8 – отражатель

Записывающий луч состоит из быстрых электронов (с энергией порядка тысяч электрон-вольт) и воспроизводит на мишени невидимое изображение линии потенциального рельефа, соответствующее форме исследуемого сигнала. Пробегая по диэлектрику мишени, луч выбивает вторичные электроны, оставляя при этом положительно заряженные участки.

Если теперь включить воспроизводящий прожектор 3 (вместе с кольцевыми электродами 2), то его медленные электроны могут проникнуть через положительно заряженные участки мишени, получить ускорение большим положительным зарядом алюминированного экрана 7 и, ударяясь о люминофор,

вызвать его свечение. На экране появляется изображение, нанесенное на мишени. Вторичные электроны притягиваются положительно заряженным коллектором и обратно на мишень не попадают.

Время воспроизведения в реальных условиях, т.е. время, пока можно наблюдать изображение на экране, очень ограничено (не более 1 мин). Это происходит потому, что электроны воспроизводящего луча сталкиваются с оставшимися в колбе молекулами газов, образуя положительные ионы, которые нейтрализуют отрицательный заряд мишени. Мишень перестает быть пригодной для воспроизводящих электронов, они свободно проходят к экрану, весь экран начинает светиться, и на общем светлом фоне изображение теряется. Если же сразу по получении на экране изображения сигнала осциллограф выключить, то записанное электрически на мишени изображение (потенциальный рельеф) может существовать довольно длительное время (от 18 часов до 7 суток) и быть воспроизведено при повторном включении осциллографа. Стирается изображение подачей положительного прямоугольного импульса на металлическую сетку мишени памяти. Мишень становится прозрачной для медленных электронов, они пролетают сквозь нее по всей площади и вызывают сильное свечение экрана, стирая изображение. После прекращения действия стирающего импульса потенциал сетки мишени и диэлектрика падает, свечение экрана прекращается и трубка вновь готова к записи.

В последние годы большое распространение находят цифровые запоминающие осциллографы (ЦЗО; *DSO – digital storage oscilloscope*).

Цифровое преобразование принципиально изменяет сущность методов изучения сигнала. Осциллограф превращается в устройство, преобразующее сигнал в цифровую форму, удобную для дальнейшей обработки, запоминания, отображения и, при необходимости, преобразования его в аналоговую форму для индикации. Измерение любого параметра сигнала сводится к составлению программ, заложенных в вычислительное устройство (в микропроцессор осциллографа либо в процессор персонального компьютера).

Принцип работы ЦЗО

В основе принципа работы цифрового осциллографа лежит преобразование исследуемого аналогового сигнала $u(t)$ в последовательность цифровых значений (квантованных мгновенных значений) u_1, u_2, u_3, \dots сигнала в определенные моменты t_1, t_2, t_3, \dots (рис. 2.61).

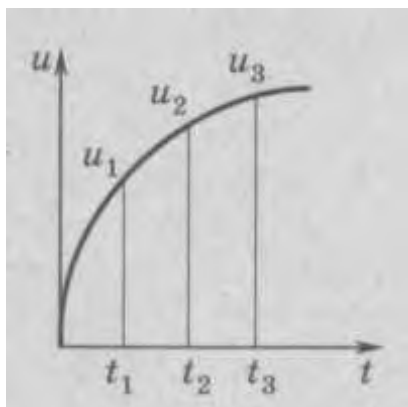


Рисунок 2.61 - Дискретные выборки аналогового сигнала

Эту задачу выполняет аналого-цифровой преобразователь. Числовой код мгновенных значений сигнала передается в запоминающее устройство (ЗУ), где накапливается последовательность чисел, которые могут храниться длительное время. Цифровая форма сигнала делает возможным выполнение программной и графической обработки числовых данных и отображение сигнала на плоском матричном светодиодном или жидкокристаллическом экране, либо на экранах ЭЛТ кинескопа.

Исследуемый аналоговый сигнал $u(t)$ подается на входное устройство (аттенюатор, усилитель), которое осуществляет согласование с рабочим диапазоном входного напряжения АЦП (рис. 2.62).

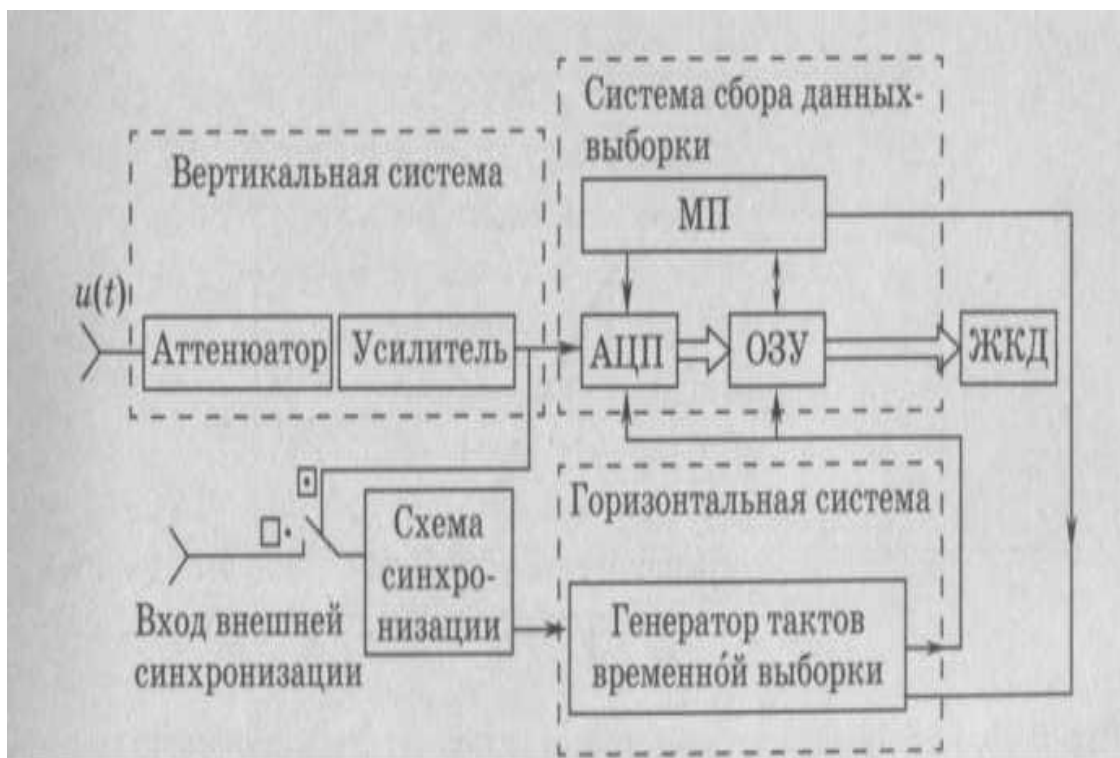


Рисунок 2.62- Упрощенная схема цифрового осциллографа

Далее АЦП в дискретных точках времени (точки выборки) преобразует аналоговый сигнал в цифровую форму, кодирует и запоминает в дискретной памяти оперативного запоминающего устройства (ОЗУ). В канале вертикального отклонения создается цифровой код мгновенных значений сигнала. Генератор тактов временной выборки, в канале горизонтального отклонения задает моменты временной выборки, частоту и скорость выборки в соответствии с длительностью и частотой следования исследуемого сигнала. Таким образом, создается код адреса.

Данные цифрового кода мгновенных значений сигнала и код адреса записываются в ОЗУ для хранения и передачи для отображения на жидкокристаллическом дисплее. Схема синхронизации синхронизирует работу всех блоков.

Особо необходимо остановиться на правильном выборе частоты дискретизации. Этот параметр определяет, как часто АЦП производит квантование. При высокой частоте дискретизации больше частота выборки (отсчетов); это обеспечивает лучшее представление исходного измеряемого сигнала (рис. 2.63).

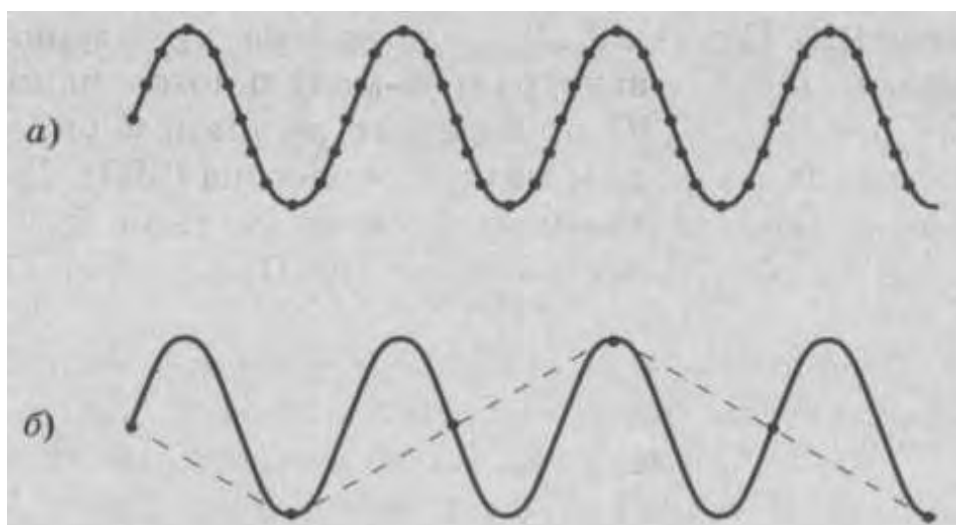


Рисунок 2.63 - Эффект достаточного (а) и малого (б) числа выборок

Согласно теореме Котельникова выбор частоты дискретизации определяется частотой высшей гармоники, содержащейся в исследуемом сигнале. Шаг дискретизации $Dt = 0,5/f_m$. Это означает, что частота дискретизации должна быть как минимум в два раза больше наибольшей частоты исследуемого сигнала. Например, звуковые сигналы, преобразованные с помощью микрофона, имеют составляющие частоты до 20 кГц. Для преобразования таких сигналов необходимы АЦП с частотой квантования более 40 кГц.

Число разрядов, используемых АЦП для представления сигнала в цифровой форме, называется разрешающей способностью, или разрядностью АЦП. Чем выше разрядность, тем больше ступеней квантования, на которые разделен измеряемый сигнал. На рис. 2.64 представлено преобразование аналогового сигнала с помощью трехразрядного идеального АЦП, который делит диапазон измеряемого сигнала на 2^3 , т.е. на 8 ступеней.

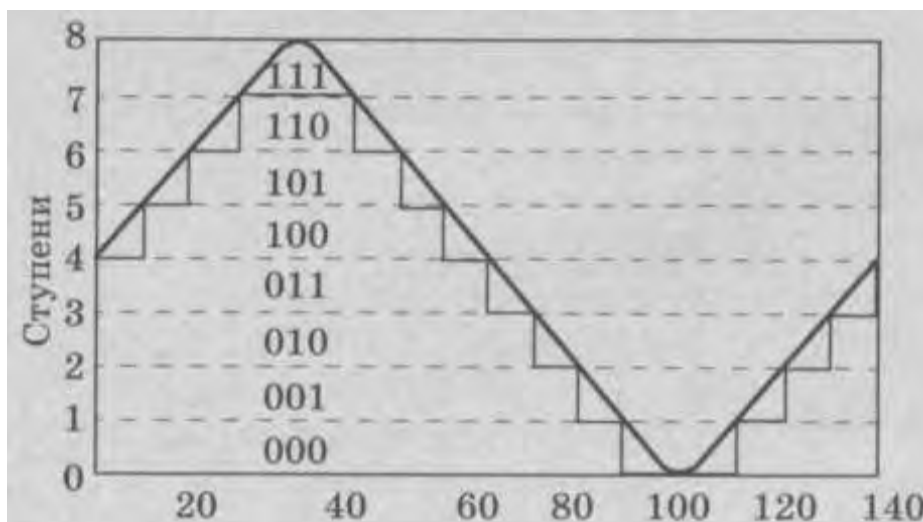


Рисунок 2.64 - Преобразование аналогового сигнала с помощью трехразрядного АЦП

Каждая ступень представляется двоичным кодом от 000 до 111. При цифровом преобразовании часть информации о сигнале теряется. При увеличении разрядности АЦП до 12 бит, т.е. до 2^{12} , число ступеней возрастает с 8 до 4096 и можно получить более точное изображение измеряемого аналогового сигнала. Применение современных ЦЗО и микропроцессоров позволяет осуществить самодиагностику и тестирование всех блоков измерений, автоматизировать процессы измерения, обработки сигналов и т.д. Современные ЦЗО в магистрально-модульном исполнении со встроенным микропроцессором имеют аналогичные структурные схемы и отличаются друг от друга способами регистрации отображения и обработки сигналов.



Рисунок 2.65 – Структурная схема современного ЦЗО

Анализаторы спектра сигналов. Измерители коэффициента нелинейных искажений

Радиотехнические сигналы при взаимодействии друг с другом или с помехой, а также проходя через устройства, содержащие нелинейные элементы, претерпевают изменение формы и спектра. При взаимодействии сигналов возникает модуляция и значение искажений необходимо измерять форму сигнала и его спектр.

Измерение спектра предусматривает определение большого числа гармонических составляющих, которое при исследовании непериодических сигналов стремится к бесконечности. Спектральная функция импульсного сигнала $x(t)$ представляет собой комплексную функцию вида

$$S(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) e^{-j\omega t} dt. \quad (56)$$

Измерения выполняются в течение некоторого интервала времени T , поэтому формула (1) преобразуется в следующую:

$$S_T(\omega) = \int_0^T x(t)e^{-j\omega t} dt.$$

(57)

Из рассмотрения формулы (2) видно, что измеряемый спектр является функцией частоты и интервала времени измерения. Функцию $S_T(\omega)$ называют текущим спектром сигнала. Очевидно, что с увеличением интервала времени измерения текущий спектр приближается к истинному.

Для определения спектра периодического несинусоидального сигнала необходимо измерить амплитуды и частоты его гармонических составляющих. Для этой цели применяют приборы – анализаторы гармоник и анализаторы спектра – как с ручным управлением, так и автоматические. Гармонические составляющие можно измерять поочередно или одновременно; первый способ анализа спектра называют последовательным, а второй – параллельным.

Анализатор гармоник представляет собой высокоизбирательное устройство, при помощи которого можно измерить амплитуду и частоту одной гармонической составляющей в присутствии всех других.



Рисунок 2.66 - Структурные схемы анализаторов гармоник последовательного действия: а - с избирательными контурами; б – гетеродинный.

По схемным решениям анализаторы гармоник подразделяют на анализаторы с избирательными контурами и гетеродинные (рис. 2.66). В диапазоне низких частот избирательные контуры выполняют в виде узкополосных фильтров, в диапазоне высоких частот используют колебательные контуры, на СВЧ – объемные резонаторы.

При параллельном анализе исследуемый сигнал после входного устройства поступает одновременно на n каналов, состоящих из узкополосных фильтров, настроенных на основную частоту и ее гармоники (рис. 2.67). Напряжения соответствующих гармонических составляющих после квадратичного детектирования через коммутирующее устройство попадают на

индикатор, регистрирующий абсолютные или относительные значения напряжения гармоник. При малом числе каналов (например, 3 или 5) коммутатор не обязателен, можно использовать необходимое количество индикаторов.

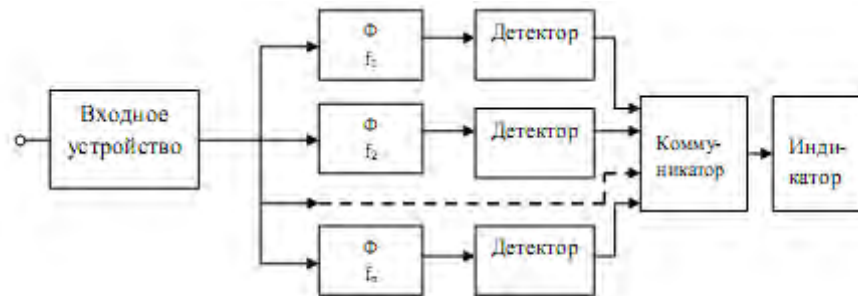


Рисунок 2.67 - Структурная схема анализатора гармоник параллельного действия.

Анализаторы гармоник применяются в основном для исследования гармонических составляющих несинусоидальных сигналов низкой частоты.

Измерение нелинейных искажений

Нелинейным искажение гармонического сигнала называется изменение его формы, возникающее в результате прохождения сигнала через устройство, содержащее нелинейный элемент. Искаженный сигнал можно представить в виде суммы постоянной составляющей, первой гармоники с частотой f и высших гармоник к частотам $2f, 3f, \dots, nf$.

Мерой нелинейного искажения гармонического сигнала является коэффициент гармоник, характеризующий отличие формы данного периодического сигнала от гармонического.

$$K_g = \frac{\sqrt{\sum_{i=2}^{\infty} A_i^2}}{A_1} \cdot 100\%, \quad (58)$$

где A_i – амплитуда i -й гармоники сигнала.

Нелинейные искажения измеряют двумя методами: гармоническим и комбинационным. При гармоническом методе на вход испытуемого устройства подают один гармонический сигнал, при комбинационном – два (или три) сигнала разных частот. Существует статистический метод, при котором на вход подают шумовой сигнал.

Измерение нелинейных искажений гармоническим методом осуществляется при помощи прибора – измерителя нелинейных искажений. Входное устройство предназначено для согласования выходного сопротивления исследуемого объекта с входным сопротивлением измерителя нелинейных искажений. Широкополосный усилитель обеспечивает усиление сигнала до величины, удобной для отсчета и дальнейших вычислений.

Полоса пропускания усилителя охватывает диапазон частот от нижней рабочей частоты до пятикратного значения верхней частоты, на которой измеряются нелинейные искажения. Диапазон рабочих частот устанавливается переключением резисторов R , плавная настройка осуществляется сдвоенным блоком конденсаторов переменной емкости.

Для наблюдения формы сигнала или его высших гармоник предусмотрен выход на осциллограф. Выпускают для работы в диапазоне низких (звуковых частот).

В современных измерителях нелинейных искажений измерение производится автоматически. Одна из возможных структурных схем подобного ИНИ показана на рисунке 2.68.

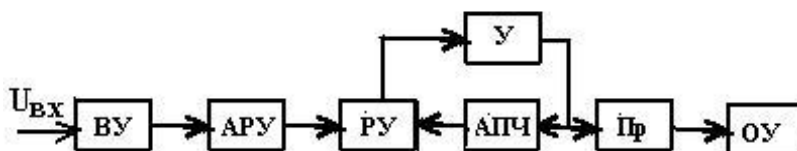


Рисунок 2.68 - Структурная схема ИНИ

Исследуемый сигнал через входное устройство ВУ подается в узел автоматической регулировки усиления АРУ. На его выходе поддерживается постоянное значение напряжения при изменениях исследуемого сигнала

С выхода АРУ напряжение поступает в режекторный усилитель РУ, в котором осуществляется автоматическое подавление первой гармоники предварительно усиленного входного сигнала. Узел автоматической подстройки частоты АПЧ управляет частотой режекции РУ таким образом, чтобы напряжение на его выходе стало минимальным. Напряжение высших гармоник поступает на вход усилителя У. Усиленное напряжение высших гармоник измеряется вольтметром среднеквадратического значения, состоящего из преобразователя Пр и отсчетного устройства ОУ, проградуированного в процентах $K_{ни}$.

Кроме рассмотренного способа $K_{ни}$ можно измерять с помощью анализатора спектра. В этом случае измеряют действующие значения всех гармоник и затем рассчитывают коэффициент нелинейных искажений. К основным характеристикам измерителей нелинейных искажений относятся: предел измерения $K_{ни}$; диапазон частот входного сигнала; ослабление основной частоты; погрешность измерения $K_{ни}$; остаточное искажение, обусловленное нелинейными искажениями и шумами прибора.

Примером ИНИ является анализатор С6-11, который имеет следующие данные: диапазон частот... 20 Гц...200 кГц; погрешность измерения... $\pm 0,05$ кГц в диапазоне частот 20 Гц...20 кГц, + 0,1 кГц в диапазоне 20 кГц...200 кГц; остаточное искажение - 0,05% в диапазоне частот 20 Гц...200 Гц, 0,02% в диапазоне 200 Гц...20 кГц, 0,1% в диапазоне 20 кГц...200 кГц.

Тема 2.4 Измерение частоты, интервалов времени и сдвига фаз

Измерение частоты и временных интервалов

В производственной практике и научных исследованиях часто возникает необходимость измерения частоты и временных интервалов. Диапазон частот периодических сигналов, используемых в различных областях науки и техники, очень широк: от долей герца до десятков гигагерц. Весь спектр частот электромагнитных колебаний подразделяется на два диапазона: низких и высоких частот. К низким частотам относят инфразвуковые (ниже 20 Гц), звуковые (20 ÷ 20000 Гц) и ультразвуковые (20 ÷ 200 кГц). Высокочастотный диапазон, в свою очередь, подразделяется на высокие частоты (200 кГц ÷ 30 МГц), ультравысокие (30 ÷ 300 МГц) и сверхвысокие (свыше 300 МГц).

Измерение частоты, по сравнению с измерениями других физических величин, возможно с очень большой точностью, которая обеспечивается лучшими метрологическими свойствами эталонов времени, высокой помехозащищенностью частотного сигнала и возможностью преобразования частоты с большой точностью в цифровой сигнал.

Измерение временного интервала отличается многообразием информативных параметров этой физической величины: период синусоидальных колебаний, период следования импульсов, интервал между импульсами, длительность импульса и т.п. Диапазон размеров измеряемых временных интервалов очень широк: от долей микросекунды до десятков часов и более. В некоторых случаях частота и время связаны между собой обратно пропорциональной зависимостью и могут быть измерены с одинаковой точностью. Предельная точность измерений временных интервалов и частоты определяется точностью государственного первичного эталона, обеспечивающего воспроизведение единиц времени со средним квадратическим отклонением результата измерения в относительных единицах 10⁻¹⁴.

Приборы для измерения частоты и времени составляют группу Ч согласно ГОСТ15094 подразделяются на:

- Ч1- стандарты частоты и времени;
- Ч2- частотомеры резонансные;
- Ч3- частотомеры электронно-счетные;
- Ч5- преобразователи частоты сигнала;
- Ч6- синтезаторы частот;
- Ч7- приемники сигналов эталонных частот и сигналов времени.

Классификация приборов для измерения частоты

- 1 Резонансные частотомеры
- 2 Гетеродинные частотомеры
- 3 Электронно – счетные (цифровые) частотомеры.

Классификация методов измерения частоты

- 1 Резонансный
- 2 Гетеродинный
- 3 Осциллографические:
 - 3.1 По интерференционным фигурам Лиссажу

3.2 Метод модуляции яркости изображения с использованием круговой развертки

4 Цифровой метод.

Резонансный метод

Резонансный метод измерения частоты пригоден для любых частот, на которых можно обнаружить явление электрического резонанса. Структурная схема реализации этого метода приведена на рис. 2.69. Источник напряжения измеряемой частоты f_x ; момент резонанса фиксируется по индикатору И, а измеряемая частота или длина волны определяется по шкале механизма настройки измерительного контура. Резонансный метод применяется только на высоких частотах – от 50 кГц и выше, так как на низкий измерительный контур слишком громоздок.



Рисунок 2.69 - К измерению частоты резонансным методом

Погрешность измерения резонансным методом зависит от многих параметров и характеристик, главные из которых следующие: значение добротности измерительного контура, точность его настройки в резонанс, температура и влажность окружающего воздуха, точность градуировки шкалы механизма настройки и отсчета по ней, ширина диапазона измеряемых частот.

Гетеродинный метод

Гетеродинный метод относится к методу сравнения и является нулевым или дифференциальным методом измерения частоты и обеспечивает высокую точность результатов измерений практически в любом диапазоне частот.

Электрические колебания неизвестной частоты и другой частоты, принимаемой за образцовую, смешивают таким образом, чтобы между ними возникли биения с некоторой частотой

$$F_6 = f_{\text{об}} - f_x. \quad (59)$$

Измерив частоту биений F_6 и зная значение образцовой частоты, вычисляют неизвестную частоту

$$f_x = f_{\text{об}} - F_6. \quad (60)$$

При частоте F_6 , равной нулю, неизвестную частоту определяют из условия ее равенства или известной кратности образцовой частоте.

Таким образом, для измерения неизвестной частоты методом сравнения необходимо иметь источник образцовых частот (меру частоты), частотный

смеситель для получения биений и индикатор равенства или кратности частот. Применяют линейные и нелинейные частотные смесители. Первые не изменяют спектра измеряемых сигналов; на выходе вторых в зависимости от вида их характеристики возникает тот или иной спектр результирующих колебаний, обязательно включающий в себя разностную частоту – частоту биений. В зависимости от вида смещения электрических колебаний измерение частоты методом сравнения осуществляют осциллографическим способом или способом нулевых биений (гетеродинным способом).

Осциллографические методы измерения частоты:

1. По интерференционным фигурам Лиссажу

Для сравнения частот синусоидальных колебаний можно использовать «метод фигур Лиссажу». В этом случае одно колебание подается на вход «Х», а второй - на вход «У». Если соотношение между частотами двух колебаний равно отношению двух простых чисел, то на экране появляется неподвижная фигура, называемая фигурой Лиссажу. По числу пересечений фигуры Лиссажу с осями координат можно определить отношение частот двух колебаний, т.к. существует следующая закономерность.

$$f_Y * n_Y = f_X * n_X = \text{const.} \quad (61)$$

Если известна частота одного колебания, то частота другого может быть определена по выражению

$$f_Y = \frac{n_X}{n_Y} * f_X = k * f_X, \quad (62)$$

где n_Y, n_X – число пересечений фигуры с осью ОУ ОХ соответственно, f_X – образцовая частота (например, частота сети 50 Гц.).

Примечание: 1. Во избежание потери некоторых точек пересечения не следует проводить секущие фигуру прямые через **узловые точки**

Таблица 2.8 - Фигуры Лиссажу

$\frac{f_x}{f_y}$	Фазовый сдвиг φ				
	0	45°	90°	135°	180°
1:1					
1:2					
1:3					
2:3					

2. Метод модуляции яркости изображения с использованием круговой развертки

Известно, что в RC-цепи переменного на его элементах возникают падения напряжения

$$u_R(t) = U_{mR} \cdot \sin \omega t, \quad (63)$$

$$u_C(t) = U_{mC} \cdot \sin(\omega t - \pi/2) = U_{mC} \cdot \cos \omega t, \quad (64)$$

а отклонение луча по вертикали и горизонтали соответственно равны

$$LY = h_Y \cdot U_{mR} \cdot \sin \omega t, \quad (65)$$

$$LX = h_X \cdot (-U_{mC} \cdot \cos \omega t), \quad (66)$$

где U_{mR} , U_{mC} – амплитуды напряжений, подаваемых с RC-фазовращателя на входы осциллографа, h_Y , h_X – чувствительности осциллографа по каналам Y и X.

$$\text{Если } h_Y \cdot U_{mR} = h_X \cdot U_{mC} = A, \text{ то} \quad (67)$$

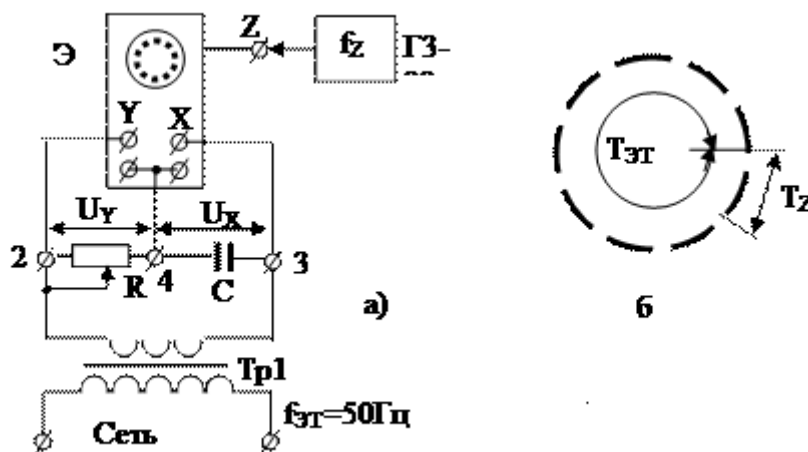


Рисунок 2.70- Метод круговой развертки

Это уравнение окружности, т.е. на экране ЭО появляется изображение окружности, модулированное по яркости напряжением U_Z (см.рис.2.70,б).

Подстройкой частоты f_Z добиваются неподвижного изображения. При этом периоды и частоты эталонного и измеряемого напряжений находятся в следующих соотношениях:

$$T_{ЭТ} = k \cdot T_Z \text{ и } f_Z = k \cdot f_{ЭТ}, \quad (68)$$

где k – число яркостных меток на экране ЭО.

Примечание: 1. Точность сравнения очень высокая. Погрешность измерения практически определяется только погрешностью эталонной, образцовой частоты, источником которой может быть выбран перестраиваемый

генератор стандартных сигналов с тарированными метрологическими характеристиками.

2.Метод пригоден для измерения частоты **знакопеременного** напряжения **любой формы**.

Цифровой метод

Переменное напряжение частоты f_x легко преобразовать в короткие импульсы, частота следования которых остается равной f_x .

Если сосчитать число импульсов N за известный промежуток времени τ , то легко определить искомую частоту

$$f_x = \frac{N}{\tau}. \quad (69)$$

В частности, если $\tau = 1$ с, то измеренное количество импульсов N численно равно неизвестной частоте f_x . Эта идея является основой метода измерения частоты дискретным счетом. Приборы, созданные на основе этого метода, называются электронно-счетными частотомерами.

Упрощенная структурная схема электронно-счетного частотомера показана на рис. 2.80. Входное устройство состоит из делителя напряжения и широкополосного усилителя, при помощи которого устанавливается значение напряжение, необходимое для нормальной работы формирующего устройства, а также устанавливает сопротивление и соответствующую форму частотной характеристики. Формирующее устройство служит для преобразования непрерывного переменного напряжения в последовательность импульсов определенной формы и величины.



Рисунок 2.80 - Упрощенная схема электронно-счетного частотомера

Ключ предназначен для пропускания импульсов на счетчик в течении известного интервала времени – времени счета. При большом числе сосчитанных импульсов точность измерения увеличивается. Максимальная относительная погрешность измерения частоты

$$\delta = \delta_m + \frac{1}{N} = \delta_m + \frac{1}{f_x \tau}. \quad (70)$$

При измерении низких частот число импульсов N невелико и ошибка может быть значительной, увеличивать же время измерения нецелесообразно, поэтому вместо измерения частоты измеряют период.

Принцип измерения периода аналогичен рассмотренному принципу измерения частоты, с той разницей, что ключ открывается импульсом, формируемым из напряжения измеряемого периода, а считываются импульсы, полученные из напряжения опорного генератора.

Длительность интервала времени между двумя импульсами измеряется в основном осциллографическим методом и методом дискретного счета. Осциллографический метод осуществляется чаще всего при помощи калиброванных меток или спиральной развертки. В первом случае на вход канала вертикального отклонения осциллографа подают импульсы, интервал между которыми нужно измерить. Частоту развертки устанавливают такой величины, чтобы на экране осциллографа были видны оба импульса. Затем включают калибратор длительности, вырабатывающий метки, длительность которых известна. По числу меток, расположенных между импульсами, определяют временной интервал между ними. Погрешность измерений этим методом тем меньше, чем больше расстояние между импульсами на экране осциллографа, чем короче метки и чем точнее их калибровка. В специальных приборах для измерения интервалов времени способом калиброванных меток относительная погрешность составляет $3 \cdot 10^{-4}$.

Сравнительно большие интервалы времени измеряют при помощи спиральной развертки. Последняя удлиняет траекторию луча на экране осциллографа в несколько десятков раз. Процесс измерения заключается в следующем. При отсутствии сигнала электроннолучевая трубка заперта и развертка не работает. Первый импульс, определяющий начало отсчета интервала времени, запускает спиральную развертку и создает импульс подсветки, который поступает на модулятор, – трубка открывается.

Второй импульс, соответствует концу измеряемого интервала, прекращает развертку и снимает подсветку – трубка закрывается.

Длительности интервала времени определяется по числу витков спирали развертки на экране осциллографа. Длительность одного витка известна с большей точностью, так как генератор круговой развертки, из которого получается спиральная, обязательно стабилизирован кварцем. Например, при частоте кварцевого генератора, равной 100 кГц, длительность одного витка составляет 10 мкс, а если число витков 30, то интервал между импульсами составляет 300 мкс.

При необходимости измерения еще больших интервалов времени спиральная развертка выполняется с задержкой. Напряжение задержки вводится поле нескольких витков спирали и прекращает развертку на точно известный интервал времени, после которого развертка продолжается. Искомый интервал времени в этом случае определяется суммой длительностей видимых витков спирали и задержкой, значение которой считывается со шкалы ее переключателя.

Измерение интервалов времени методом дискретного счета принципиально не отличается от измерения периода. В течение измеряемого интервала селектор

пропускает на электронно-счетное устройство импульсы от стабилизированного кварцем генератора. По числу прошедших импульсов и их длительности определяется искомый интервал. Точно также измеряется и длительность импульсов. Селектор открывается и закрывается короткими импульсами, соответствующими фронту и срезу измеряемого импульса. Точность измерения тем выше, чем больше длительность интервала и чем выше скорость счета. В современных измерителях больших интервалов времени погрешность составляет $\pm 0,01\%$.

Измерение сдвига фаз

Необходимость измерения фазового сдвига возникает при исследованиях фазочастотных характеристик радиотехнических устройств, измерениях реактивной мощности, оценке свойств веществ.

Приборы для измерения разности фаз называют фазометрами или измерителями фазового сдвига и согласно ГОСТ15094 подразделяются на:

- Ф1 – установки и приборы для поверки измерителей фаз;
- Ф2 – измерители фаз;
- Ф3 – фазовращатели измерительные;
- Ф4 – измерители группового времени запаздывания.

Методы измерения фазового сдвига весьма разнообразны и зависят от диапазона частот, требуемой точности и от формы исследуемых сигналов.

Классификация приборов для измерения сдвига фаз

- 1 Электромеханический фазометр
- 2 Цифровой фазометр

Классификация методов измерения сдвига фаз

- 1 Осциллографические:
 - 1.1 метод линейной развертки
 - 1.2 Метод синусоидальной развертки (метод эллипса)
 - 1.3 Метод круговой развертки
 - 1.4 Компенсационный
 - 1.5 Метод преобразования фазового сдвига во временной интервал

Электромеханические фазометры для измерения коэффициента мощности и угла сдвига фаз

Фазометром называется электроизмерительный прибор, функция которого — измерение угла сдвига фаз между двумя электрическими колебаниями постоянной частоты. К примеру, при помощи фазометра можно измерить угол сдвига фаз в сети трехфазного напряжения. Зачастую фазометры применяются с целью определения коэффициента мощности, косинуса ϕ , какой-нибудь электроустановки. Так, фазометры находят широкое применение в процессе разработки, наладки и при эксплуатации различных электротехнических и электронных аппаратов.

При включении фазометра в измеряемую цепь, прибор присоединяют к цепи напряжения и к токоизмерительной цепи. Для трехфазной сети электроснабжения производится подключение фазометра по напряжению к трем фазам, а по току — ко вторичным обмоткам трансформаторов тока также в трех фазах.

В зависимости от устройства фазометра, возможна и упрощенная схема его подключения, когда по напряжению он подключается также к трем фазам, а по току — только на двух фазах. Тогда третья фаза вычисляется путем сложения векторов только двух токов (двух измеряемых фаз). Назначение фазометра — измерение косинуса ϕ (коэффициента мощности), поэтому в просторечии их еще называют «косинусфиметрами».

Сегодня можно встретить фазометры двух типов: электродинамический и цифровой. Электродинамические или электромагнитные фазометры имеют в своей основе простейшую цепь с логометрическим механизмом измерения сдвига фаз. Две жестко скрепленные между собой рамки, угол между которыми 60° градусов, закреплены на осях в опорах, и противодействующий механический момент отсутствует.

В определенных условиях, которые задаются путем изменения сдвига фаз токов в цепях этих двух рамок, а также углом крепления этих рамок между собой, подвижная часть измерительного прибора поворачивается на угол, равный углу сдвига фаз. Линейная шкала прибора позволяет зафиксировать результат измерения.

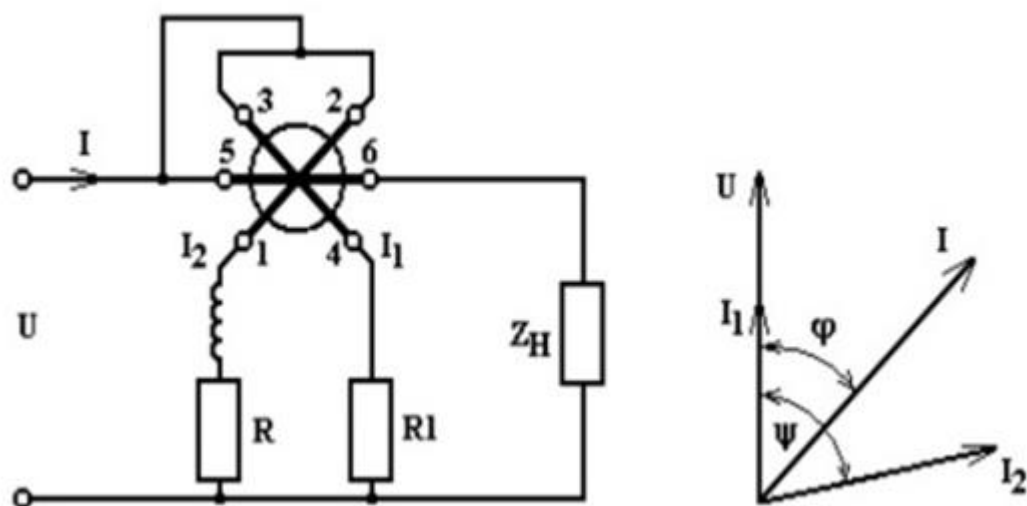


Рисунок 2.81 – Схема и векторная диаграмма электродинамического фазометра

Рассмотрим принцип действия электродинамического фазометра. Имеются неподвижная катушка с током I и две подвижные катушки. По каждой из подвижных катушек протекают токи I_1 и I_2 . Протекающие токи создают магнитные потоки как в неподвижной катушке, так и в подвижных катушках. Соответственно, взаимодействующие магнитные потоки катушек порождают два вращающих момента M_1 и M_2 .

Величины этих моментов зависят от взаимного расположения двух катушек, от угла поворота подвижной части измерительного прибора, и направлены эти моменты в противоположные стороны. Средние значения моментов зависят от токов, протекающих в подвижных катушках (I_1 и I_2), от тока, протекающего в неподвижной катушке (I), от углов сдвига фаз токов подвижных катушек относительно тока в неподвижной катушке (ψ_1 и ψ_2), и от конструктивных параметров катушек.

$$\begin{aligned}
 M_1 &= c_1 I I_1 \cos \psi_1 f_1(\alpha) \\
 M_2 &= c_2 I I_2 \cos \psi_2 f_2(\alpha) \\
 M_1 &= M_2 \\
 \Downarrow \\
 c_1 I I_1 \cos \psi_1 f_1(\alpha) &= c_2 I I_2 \cos \psi_2 f_2(\alpha) \\
 \boxed{\frac{I_2 \cos \psi_2}{I_1 \cos \psi_1} = \frac{c_1 f_1(\alpha)}{c_2 f_2(\alpha)} = f_3(\alpha)} & \quad (71)
 \end{aligned}$$

В итоге подвижная часть прибора поворачивается под действием этих моментов до тех пор, пока не наступит равновесие, вызванное равенством моментов в результате поворота. Шкала фазометра может быть отградуирована в значениях коэффициента мощности.

Эти методы реализуются с помощью линейной, синусоидальной и круговой разверток.

1. Метод линейной развертки

Для этого используется двухлучевой или двухканальный осциллограф. На входы Y_1 и Y_2 подаются исследуемые сигналы. Частота развертки подбирается так, чтобы на экране наблюдалось 1-2 периода сигналов (рис. 2.82).

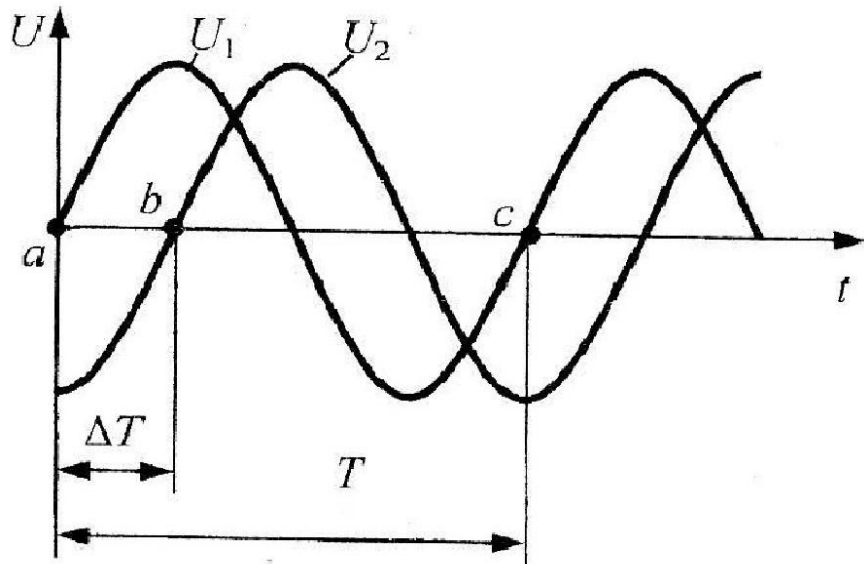


Рисунок 2.82 - Линейная развертка

Измерив T и ΔT по формуле

$$\varphi = \frac{360^\circ}{T} \cdot \Delta T = \frac{ab}{ac} 360^\circ \quad (72)$$

определяют фазовый сдвиг, где ab и ac – измеренные на экране ЭЛТ длины отрезков.

2. Метод синусоидальной развертки (метод эллипса)

Метод может быть реализован с помощью однолучевого осциллографа. Один сигнал $U_1 = Uy \cdot \sin(\omega t + \varphi)$ подается в канал Y , а второй $U_2 = Ux \cdot \sin \omega t$ – на канал X (генератор развертки отключен). На экране осциллографа получается эллипс (рис. 2.83), уравнение которого

$$y = \frac{b}{a} \cdot (x \cos \varphi + \sqrt{a^2 - x^2} \sin \varphi), \quad (73)$$

где a , b – максимальные отклонения по горизонтали и вертикали соответственно.

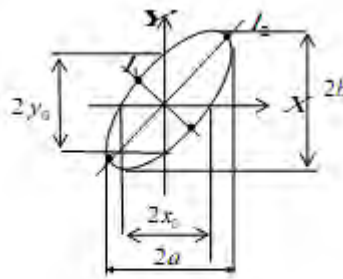


Рисунок 2.83 - Синусоидальная развертка (Эллипс)

Существует ряд методов определения фазового сдвига по полученной фигуре.

Метод 1. Положив $x = 0$ получим вертикальный отрезок $y_0 = b \cdot \sin \phi$. Если $y = 0$, то горизонтальный отрезок $x_0 = a \cdot \sin \phi$.

Следовательно

$$\sin \phi = \pm \frac{y_0}{b} = \pm \frac{x_0}{a} \quad (74)$$

откуда можно определить

$$\phi = \pm \arcsin \frac{2y_0}{2b} = \pm \arcsin \frac{2x_0}{2a}. \quad (75)$$

Метод неточен из-за трудности определения центра эллипса, но зато полученные формулы не зависят от соотношений U_x и U_y .

Метод 2. Реализуется при условии $a = b$. В этом случае

$$\operatorname{tg} \phi = l_1 / l_2 \quad (76)$$

где l_1 - малая ось эллипса, l_2 - его большая ось.

Метод 3. При любых значениях a и b

$$\sin \phi = \frac{l_1 l_2}{ab} \quad (77)$$

где l_1, l_2, a, b - определяются по экрану ЭЛТ осциллографа.

Осциллографический метод прост, не требует дополнительных приборов, но не даёт однозначности (знак угла) и обладает большой субъективной погрешностью. Погрешность определения фазового сдвига составляет 5-10% из-за неточностей определения длин отрезков, искажений эллипса.

3. Метод круговой развертки

При использовании этого метода опорное напряжение с помощью фазовращателя ФВ расщепляется по фазе и в виде двух сдвинутых на 90° напряжений подается на вход усилителей Y_1 и Y_2 каналов X и Y (рис. 2.84). Регулировкой коэффициентов усиления и установлением фазовой симметрии в обоих каналах добиваются получения круговой развертки.

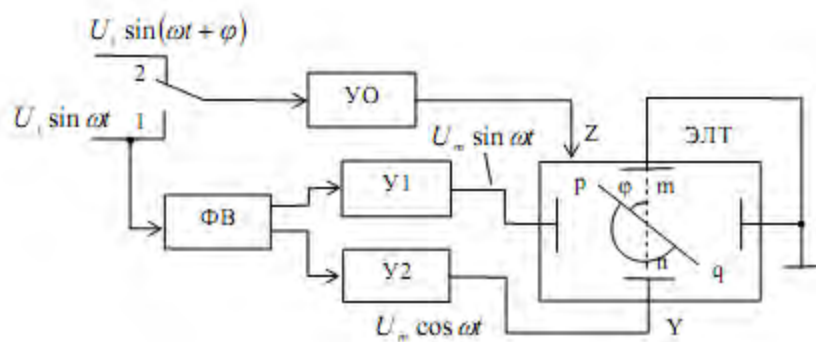


Рисунок 2.84 - Круговая развертка

Напряжение исследуемого сигнала подается на модулирующий электрод ЭЛТ (канал Z). На время отрицательного полупериода ЭЛТ запирается и на экране становится видимой только половина окружности. Для обеспечения необходимой точности измерений необходимо, чтобы трубка запиралась в моменты перехода сигнала через ноль, что обеспечивается применением усилителя-ограничителя УО.

В процессе измерения фазового сдвига на вход УО сначала подается опорное напряжение (положение 1) и по полуокружности на экране ЭЛТ отмечается положение диаметра mn , являющегося началом отсчета. Затем на УО подается измеряемый сигнал (положение 2) и отмечается положение pq . Измеряемый фазовый угол равен φ углу между прямыми mn и pq .

Источниками погрешности являются: непостоянство частоты круговой развертки, погрешность измерения угла между диаметрами, погрешность УО.

Компенсационный метод

Для осуществления измерений по этому методу необходимо иметь два фазовращателя, один из которых должен быть калиброван. Фазовращатель (группа ФЗ) – это устройство, с помощью которого в схему вводятся известный и регулируемый фазовый сдвиг. Измерения проводят по схеме (рис.2.85). Сначала устраняют собственный фазовый сдвиг между каналами X и Y осциллографа. Для этого переключатель S переводят в положение 1, подавая тем самым на X и Y одно и то же напряжение $U_1(t)$.

Указатель шкалы калиброванного фазовращателя ФВ1 устанавливают на ноль, затем вращая ФВ2, добиваются прямой линии на экране ЭЛТ. При этом происходит компенсация собственного фазового сдвига осциллографа.

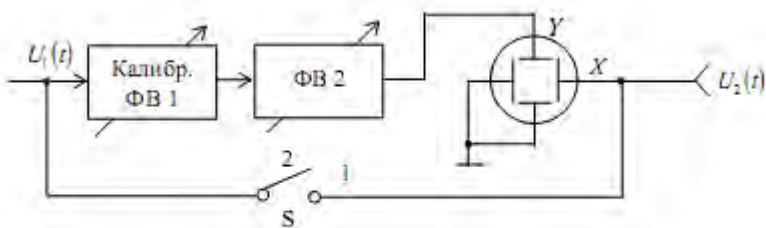


Рисунок 2.85 - Компенсационный метод

Затем переключатель S переводят в положение 2 и на вход X подают напряжение $U_2(t)$. В результате на экране ЭЛТ появляется эллипс, который снова превращают в прямую линию, вращая на этот раз калиброванный ФВ1.

По шкале ФВ1 отсчитывают фазовый сдвиг между напряжениями $U_1(t)$ и $U_2(t)$. Если $U_1(t)$ опережает $U_2(t)$, то показания ФВ1 равны фазовому сдвигу $\phi = \phi_{обр}$, если наоборот, то сдвиг вычисляется по формуле $\phi = 360^\circ - \phi_{обр}$.

Простейший низкочастотный фазовращатель представляет собой неуравновешенный четырехплечий мост, построенный на RC-элементах (рис. 2.86)

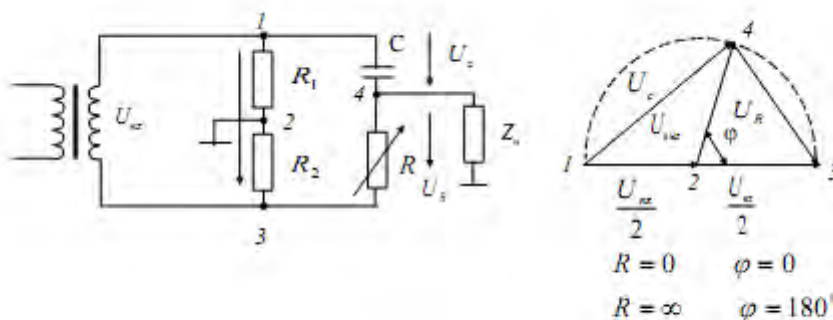


Рисунок 2.86 - Простейший низкочастотный фазовращатель

Фазовый сдвиг равен $\phi = 2 \arctg \omega RC$ и регулируется в диапазоне 10-160°. Для исключения влияния сопротивления нагрузки в качестве Z_n часто включают эмиттерный повторитель, что позволяет получить погрешность фазовращателей не более 0,10.

Измерение фазового сдвига методом преобразования во временной интервал основано на алгоритме, описываемом выражением

$$\phi = 360^\circ \frac{\Delta t_x}{T_x}, \quad (78)$$

где T_x – период сигнала;

Δt_x – интервал времени, пропорциональный измеряемому фазовому сдвигу.

Преобразование фазового сдвига во временной интервал

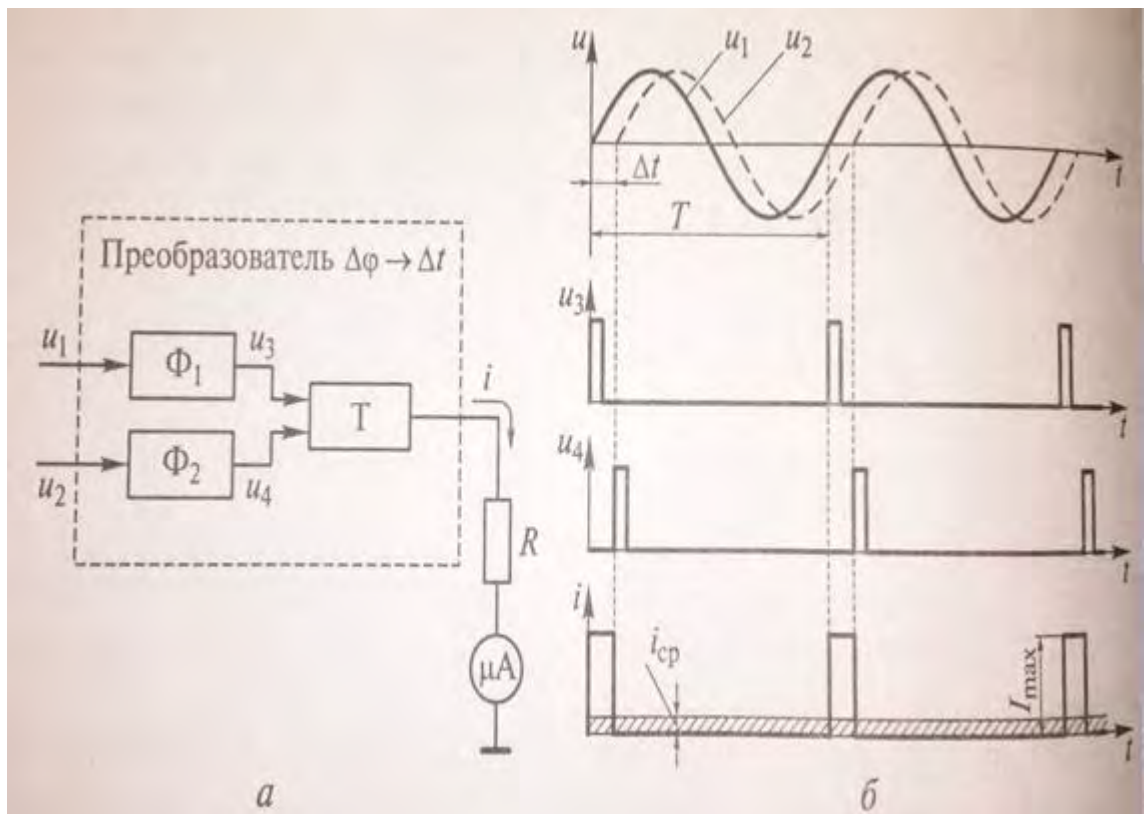


Рисунок 2.87

Синусоидальные сигналы U_1 и U_2 , фазовый сдвиг между которыми нужно измерить, подаются на одинаковые формирователи Φ_1 и Φ_2 , где преобразуются в последовательность коротких импульсов напряжения U_3 и U_4 . Импульсы U_3 запускают, а U_4 сбрасывают триггер (Т) в исходное состояние.

В результате на выходе триггера формируется периодическая последовательность импульсов напряжения, период повторения и длительность которых равны периоду T и длительности Δt исследуемых сигналов. Импульсы напряжения, поступая на (R) резистор преобразуются в импульсы тока (I) с аналогичным периодом и длительностью и измеряются микроамперметром

Который реагирует на среднее значение протекающего через него тока за период следования T

$$\alpha = S_I i_{cp} = S_I \frac{1}{T} \int_0^{\Delta t} I_{max} dt = S_I I_{max} \frac{\Delta t}{T} \quad (79)$$

$$\Delta\phi = \frac{360^\circ * \Delta t}{T} \quad (80)$$

Цифровой метод

Фазовый сдвиг легко преобразуется во временной интервал. Метод дискретного счета предполагает заполнение этого временного интервала счётными импульсами и подсчет их количества. Если частота следования счетных импульсов f_0 , то в интервале ΔT их будет $n = f_0 \Delta T$. Тогда фазовый сдвиг

$$\varphi = \frac{360^\circ}{T} \cdot \Delta T = \frac{360^\circ}{T f_0} n. \quad (81)$$

Измерив ΔT и T с помощью цифрового измерителя временных интервалов или цифровым частотомером можно косвенным методом по приведенной формуле рассчитать величину фазового сдвига. Более удобным является использование цифрового фазометра. Чаще всего они строятся по схеме интегрирующего фазометра (рис.2.88), когда результат измерений представляет собой среднее значение фазового сдвига за большое число периодов входного напряжения. Этим достигается повышение точности и помехозащищенности.

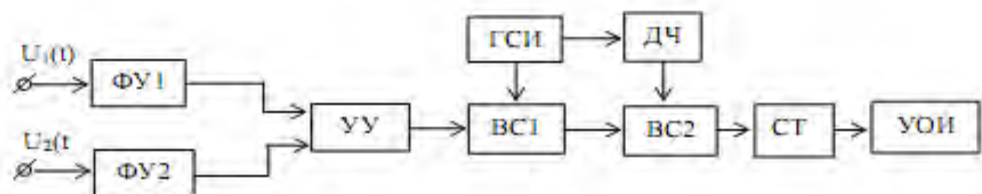


Рисунок 2.88 -Схема интегрирующего фазометра

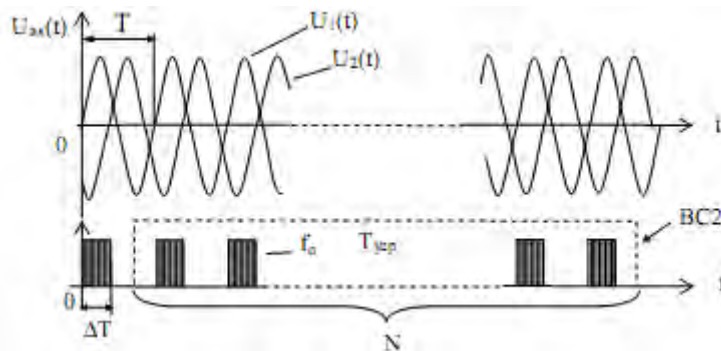


Рисунок 2.89 - Измерение фазового сдвига

Измеряемый фазовый сдвиг преобразуется во временной интервал ΔT , заполняемый счетными импульсами частотой f_0 с генератора ГСИ. Число импульсов в одной пачке согласно (2.89)

$$n = f_0 \Delta T = \frac{T f_0}{2\pi} \varphi. \quad (82)$$

Эти пачки импульсов поступают на второй временной селектор BC2, открываемый на время $T_{\text{уср}}$, формируемое из импульсов ГСИ с помощью делителя частоты ДЧ. Число пачек, попавших в счетчик СТ $q = T_{\text{уср}} / T = k / f_0 T_{\text{уср}}$, где k – коэффициент деления счетчика СТ.

Общее число импульсов, поступивших на счётчик $N = nq$. Откуда получим

$$N = \frac{Tf_0}{2\pi} \varphi \frac{k}{f_0 T} = \frac{k}{2\pi} \varphi = C\varphi, \quad (83)$$

т.е. число импульсов не зависит от частоты входных сигналов и частоты ГСИ. Подбрав необходимое значение коэффициента пропорциональности C (коэффициент деления k), можно получить отсчет

$$\varphi = \frac{360^\circ}{C} \cdot N \quad (84)$$

в градусах фазового сдвига.

Погрешность цифровых фазометров определяется погрешностью формирования интервала ΔT и погрешностью дискретности при подсчете числа импульсов n и N . Поэтому фазометры используются для измерения относительно высокочастотных сигналов и обеспечивают погрешность порядка $0,1^\circ$. Эту погрешность можно уменьшить, увеличивая $T_{\text{уср}}$.

Тема 2.5 Измерение электрической мощности и энергии

В настоящее время в промышленности и быту производят измерения мощности и энергии в очень широких пределах. Измерения осуществляют в цепях как постоянного, так и переменного однофазного и трехфазного то-ков, для последних получая информацию об активной и реактивной их составляющих. Так, мощность постоянного и однофазного переменного тока измеряют в диапазоне от 10-18 Вт в радиотехнических устройствах высокой частоты и до 1010 Вт у крупных потребителей электроэнергии. Требуемая погрешность измерения мощности постоянного и переменного тока для постоянного и переменного однофазного и трехфазного тока промышленной частоты находится в пределах $\delta = \pm(0,01 \div 0,1) \%$; а при сверхвысоких частотах до $\delta = \pm(1 \div 5) \%$.

Измерение реактивной мощности имеет практическое значение лишь у крупных потребителей электроэнергии, которые всегда используют трех-фазный переменный ток: пределы измерений от 3-10 вар до 106 вар, по-грешность приборов $\delta = \pm(0,1 \div 0,5) \%$.

Для измерения мощности в цепях постоянного и переменного однофазно-го тока применяются в основном электродинамические и ферродинамические ваттметры. Основные характеристики электродинамических и ферродинамических измерительных преобразователей приведены в разделе 2 (см. табл. 2.1). Для точных измерений мощности постоянного и переменного токов на промышленной и повышенной частоте (до 5000 Гц) выпускают электродинамические ваттметры в виде переносных приборов классов точности $0,1 \div 0,5$.

Для измерения мощности в производственных условиях в цепях переменного тока промышленной или более высоких фиксированных частот (400, 500 Гц) применяются щитовые ферродинамические ваттметры классов точности 1,5 ÷ 2,5. Для измерений мощности на высоких частотах применяются термоэлектрические и электронные ваттметры.

Диапазон измерения электрической энергии определяется диапазонами изменения номинальных токов и напряжений. Нижний предел диапазона измерения энергии, потребляемой различными электротехническими устройствами, соответствует значениям токов примерно 10⁻⁹ А и напряжения – 10⁻⁶ В. Однако средств измерений для непосредственного измерения таких малых энергий не существует, а малые значения энергии определяются косвенными методами (например, определяются мощность и время). Верхний предел диапазона измерения энергии достигает при токовых нагрузках порядка 10⁴ А и напряжении – 10⁶ В. Погрешность измерения энергии составляет $\delta = \pm (0,1 \div 2,5) \%$.

Измерение реактивной энергии необходимо только в промышленных трехфазных цепях. Поэтому нижний предел диапазона измерения в этом случае находится на уровне тока 1 А, а напряжения – 100 В, а верхний – по току до 50 А, напряжений до 380 В. Погрешность измерения реактивной энергии составляет $\delta = \pm (1 \div 2,5) \%$.

Измерение энергии постоянного тока осуществляется с помощью счетчиков постоянного тока. Энергия однофазного переменного тока измеряется индукционными счетчиками электрической энергии (см. табл. 2.1). Электрическую энергию также измеряют с помощью электронных счетчиков электрической энергии, не имеющих подвижных частей. Такие счетчики обладают лучшими метрологическими характеристиками и могут использоваться в трехфазных цепях [4].

Измерение мощности в цепях постоянного тока возможно выполнить косвенным методом при помощи амперметра и вольтметра, так как $P = UI$, а в цепях переменного тока при помощи амперметра, вольтметра и фазометра с расчётом активной мощности по формуле $P = UI \cos \varphi$. Однако, в этих случаях измерение мощности связано с вычислением по отсчётам двух или трёх приборов, что снижает точность и усложняет процесс измерения.

Измерение мощности в цепях постоянного и переменного токов промышленной частоты осуществляется **ваттметрами**, обычно с электродинамическими измерительными механизмами.

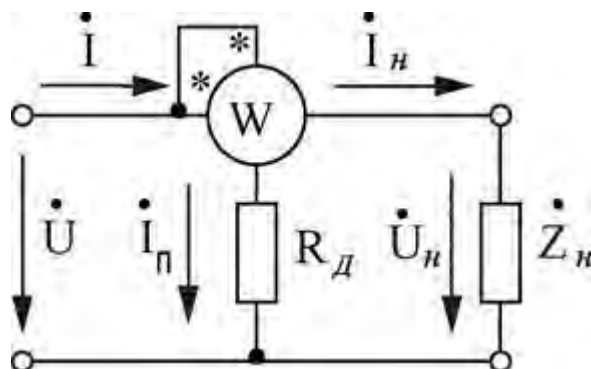


Рисунок 2.90 - Схема включения ваттметра

Электродинамические ваттметры выпускаются в виде переносных приборов высоких классов точности (0,1; 0,5).

Для измерения мощности на высоких частотах применяются термоэлектрические и электронные ваттметры, представляющие собой магнитоэлектрический измерительный механизм, снабженный преобразователем активной мощности в постоянный ток.

На рис. 2.90. показана схема включения в цепь переменного тока электродинамического ваттметра для измерения активной мощности, приемника или потребителя с сопротивлением нагрузки. Подвижная катушка включается последовательно с добавочным резистором параллельно приемнику. Угол отклонения стрелки электродинамического измерительного прибора

$$\alpha = k \cdot P, \quad (85)$$

где k — масштабные коэффициенты.

Таким образом, шкалу электродинамического ваттметра можно проградуировать в единицах измерения активной мощности.

Измерение активной мощности в трехфазных цепях. Активную мощность можно измерить при помощи одного, двух или трех приборов в зависимости от схемы соединения фаз потребителя и симметрии нагрузки. Рассмотрим соответствующие схемы включения.

Активная мощность трехфазного потребителя, фазы которого соединены звездой, равна сумме мощностей отдельных фаз:

$$P = P_A + P_B + P_C = U_A I_A \cos \varphi_A + U_B I_B \cos \varphi_B + U_C I_C \cos \varphi_C \quad (86)$$

Из этого выражения видно, что, измерив активную мощность каждой из фаз и просуммировав показания, можно определить активную мощность трехфазного потребителя. Такой метод измерения называется методом трех ваттметров. Наиболее часто он применяется для измерения мощности в трехфазной четырехпроводной несимметричной системе (Рис. 2.91).

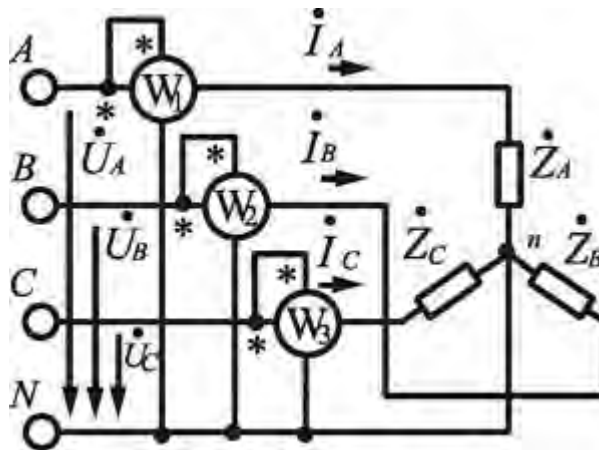


Рисунок 2.91 - Схема включения ваттметров в трёхфазной цепи

В частном случае симметричного трёхфазного приёмника $P_A + P_B = P_C$ и $P = 3U_{\phi} I_{\phi} \cos \varphi_{\phi}$. Поэтому в симметричной трёхфазной цепи измерение активной мощности может быть выполнено одним прибором (Рис. 2.92).

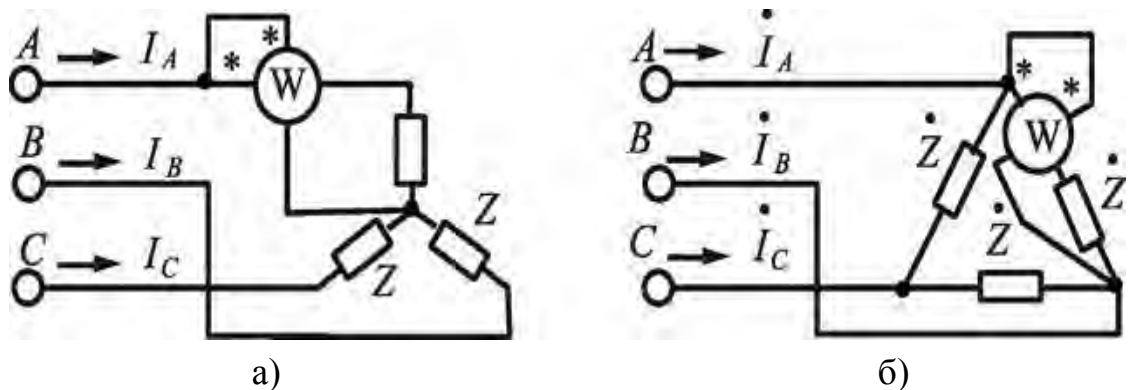


Рисунок 2.92 - Схема измерения мощности симметричного приёмника

При соединении симметричного приемника треугольником также достаточно измерить мощность в одной фазе (Рис. 2.92, б); общая мощность равна утроенному показанию ваттметра.

Как известно, мощность любой трехфазной системы (вне зависимости от схемы соединения приемников) равна сумме мощностей отдельных фаз или мощности источника питания (генератора, трансформатора). Для мгновенных значений мощности трёхпроводной трёхфазной цепи будет справедливо выражение:

$$P = P_A + P_B + P_C = u_A i_A + u_B i_B + u_C i_C, (87)$$

где P_A, P_B, P_C — мгновенные значения мощностей отдельных фаз; $u_A, u_B, u_C, i_A, i_B, i_C$ — мгновенные значения фазных напряжений и токов источника

питания, фазы которого будем считать соединенными звездой, так что фазные токи равны линейным.

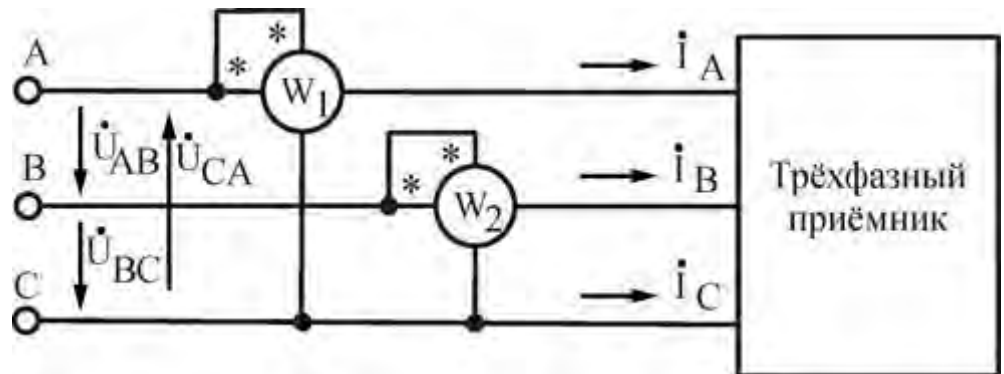


Рисунок 2.93 - Схема измерения мощности двумя ваттметрами

Выразив согласно закону Кирхгофа значения фазных токов i_A, i_B, i_C в виде $i_A = -(i_B + i_C)$, $i_B = -(i_A + i_C)$, $i_C = -(i_A + i_B)$ и подставив эти значения поочерёдно в вышеприведённое уравнение, после преобразований получим

$$P = u_{AC}i_A + u_{BC}i_B = u_{AB}i_A + u_{CB}i_C = u_{BA}i_B + u_{CA}i_C, \text{ где } i_C = -(i_A + i_B), i_B = -(i_A + i_C),$$

, $u_{AB} = u_A - u_B$ - мгновенные значения линейных напряжений.

Переходя к средней, т. е. активной, мощности источника и равной активной мощности приемника, имеем

$$P = U_{AC}I_A \cos \psi_A + U_{BC}I_B \cos \psi_B = U_{AB}I_A + U_{CB}I_C \cos \psi_C = U_{BA}I_B \cos \psi_B + U_{CA}I_C \cos \psi_C \quad (88)$$

где ψ_A, ψ_B, ψ_C - углы сдвига фаз между линейными напряжениями и токами; $I_A, I_B, I_C, U_{AB}, U_{BC}, U_{CA}$ - действующие значения линейных токов и напряжений.

Таким образом, активная мощность трёхфазной системы равна алгебраической сумме показаний двух ваттметров: $P = P_{W1} + P_{W2}$. На рис. 2.93 представлена одна из трёх возможных схем включения двух приборов для измерения активной мощности. Метод двух ваттметров применяется для измерения активной мощности в несимметричных трехпроводных трехфазных цепях.

Цифровые ваттметры

Основной принцип работы цифрового ваттметра заключается в предварительном измерении силы тока и напряжения на исследуемом участке цепи. К потребителю нагрузки последовательно подключается датчик тока, а датчик напряжения подключается по параллельной схеме. Главным конструктивным элементом датчика служит термистор, термопара или измеряющий трансформатор. По такому же принципу работает ваттметр бытовой, широко используемый в домашних условиях. Такое устройство достаточно включить в розетку, чтобы начать процесс измерения. Основой устройства служит микропроцессор, к которому поступают измеренные параметры тока и напряжения, после чего и вычисляется мощность. Полученные результаты выводятся на экран и одновременно передаются на внешние приборы. В самом микропроцессоре присутствуют элементы, в том числе и микроконтроллеры, позволяющие автоматически управлять рабочими режимами, дистанционно переключать пределы измерений. С их помощью выполняется индикация условных обозначений измеряемых величин. При работе с преобразователями больших и средних уровней мощности, выполняется калибровка цифрового устройства с помощью калибратора мощности постоянного тока. Самостоятельная калибровка ваттметра осуществляется калибратором мощности переменного тока. Питание всех узлов и элементов происходит через источник питания постоянного тока, встроенный внутри измерительного прибора.



Рисунок 2.94 - Упрощенная структурная схема цифрового ваттметра

Измерение электрической энергии

Измерение реактивной энергии

Постоянный ток. Для измерения расхода энергии при постоянном токе применяют счетчики трех систем: электродинамической, магнитоэлектрической и электролитической. Наибольшее распространение получили счетчики электродинамической системы. Неподвижные токовые катушки, состоящие из небольшого числа витков толстой проволоки, последовательно включены в сеть. Подвижная катушка шарообразной формы, называемая якорем, укреплена на оси, которая может вращаться в подшипниках. Обмотка якоря выполнена из большого числа витков тонкой проволоки и разделена на несколько секций. Концы секций припаяны к пластинам коллектора, которого касаются металлические плоские щетки. Напряжение сети подается в обмотку якоря через добавочное сопротивление. При работе счетчика в результате взаимодействия тока в обмотке якоря и магнитного потока неподвижных токовых катушек создает момент вращения, под влиянием которого якорь начнет поворачиваться. О количестве энергии, потребляемой в сети, можно судить по числу оборотов, сделанных якорем (диском). Количество энергии, приходящееся на один оборот якоря, называется постоянной счетчика. Число оборотов якоря, приходящееся на единицу учтенной электрической энергии, называется передаточным числом.

Однофазный переменный ток. Для измерения активной энергии в цепях однофазного переменного тока применяют счетчики индукционной системы. Устройство индукционного счетчика почти такое же, как и индукционного ваттметра. Разница состоит в том, что счетчик не имеет пружин, создающих противодействующий момент, отчего диск счетчика может свободно вращаться. Стрелка и шкала ваттметра заменены в счетчике счетным механизмом. Постоянный магнит, служащий в ваттметре для успокоения, в счетчике создает тормозящий момент.

Трехфазный переменный ток. Активную энергию трехфазного переменного тока можно измерить с помощью двух однофазных счетчиков, включенной в цепь по схеме, аналогичной схеме двух ваттметров. Удобнее измерить энергию трехфазным счетчиком активной энергии, объединяющим в одном приборе работу двух однофазных счетчиков. Схема включения двухэлементного трехфазного счетчика активной энергии та же, что и схема соответствующего ваттметра.

В четырехпроводной сети трехфазного тока для измерения активной энергии применяют схему, аналогичную схеме трех ваттметров, или употребляют трехэлементный трехфазный счетчик. В сетях высокого напряжения включение счетчиков производится при помощи измерительных трансформаторов напряжения и тока.

Реактивную энергию однофазного тока можно определить по показанию амперметра, вольтметра, фазометра и секундомера.

Для учета реактивной энергии в сетях трехфазного тока можно применять нормальные счетчики активной энергии и специальные счетчики реактивной энергии.

Рассмотрим устройство однофазного индукционного счетчика.

Однофазный индукционный счетчик используется для учета энергии в однофазных цепях переменного тока. В качестве измерительного механизма используется индукционный преобразователь. Число оборота дисков счетчика приходящиеся на единицу учитываемой энергии называют передаточным числом. Величина обратная передаточному числу называют номинальной постоянной счетчика ($C_{ном}$)

$$W = C_{ном} * N \quad (89)$$

Где W -энергия учитываемая счетчиком

Однофазные(одноэлементные)индукционные счётчики используются для учёта активной энергии в однофазных цепях переменного тока. В качестве вращающего элемента однофазного счётчика используется индукционный измерительный механизм. Принцип действия основан на взаимодействии 2х или нескольких переменных магнитных потоков с токами, индуцированными ими в подвижном алюминиевом диске.

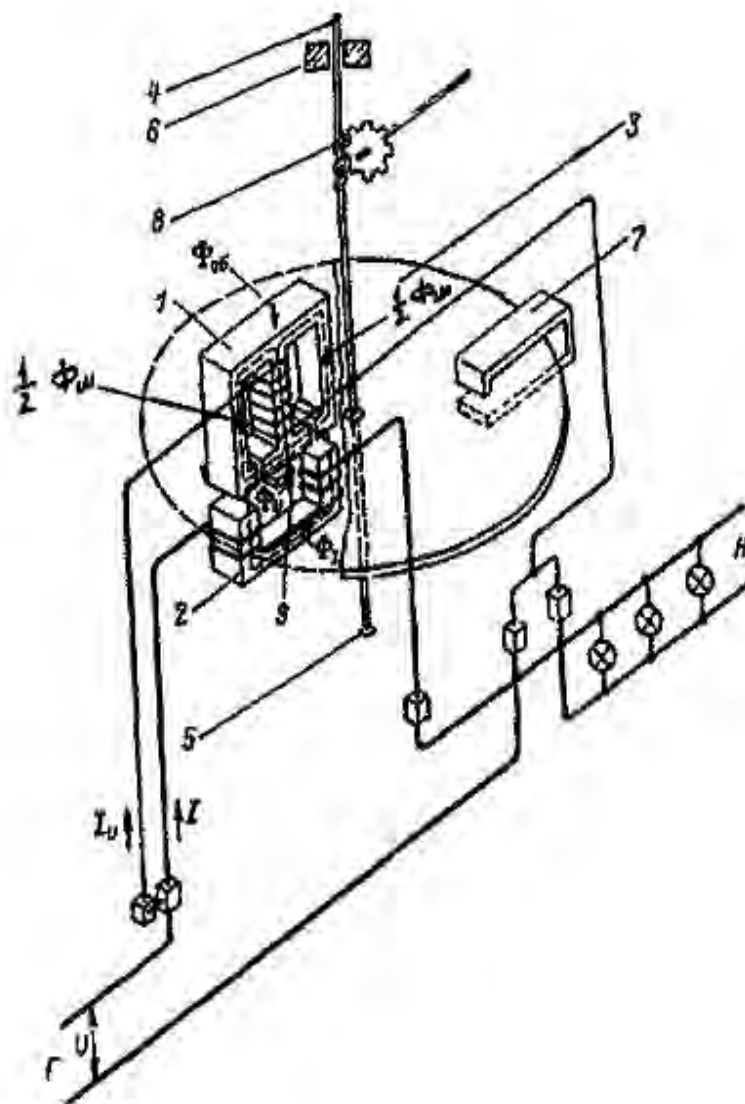


Рисунок 2.95 - Однофазный(одноэлементный)индукционный счётчик

Основными его узлами являются электромагниты 1 и 2, алюминиевый диск 3, укрепленный на оси 4, опоры оси - подпятник 5 и подшипник 6, постоянный магнит 7. С осью связан при помощи зубчатой передачи 8 счетный механизм (на рисунке не показан), 9 - противоположный полюс электромагнита 1. Электромагнит 1 содержит Ш - образный магнитопровод, на среднем стержне которого расположена многovitковая обмотка из тонкого провода, включенная на напряжение сети U параллельно нагрузке H . Эта обмотка в соответствии со схемой включения называется параллельной обмоткой или обмоткой напряжения. При номинальном напряжении 220 В параллельная обмотка имеет обычно 8-12 тысяч витков провода диаметром 0,1 - 0,15 мм. Электромагнит 2 расположен под магнитной системой цепи напряжения и содержит U - образный магнитопровод, с расположенной на нем обмоткой из толстого провода с малым количеством витков. Данная обмотка включена последовательно с нагрузкой и поэтому называется последовательной или

токовой обмоткой. Через нее протекает полный ток нагрузки /. Обычно количество ампер-витков этой обмотки находится в пределах 70 - 150, т.е. при номинальном токе 5 А обмотка содержит от 14 до 30 витков. Комплекс деталей, состоящий из последовательной и параллельной обмоток с их магнитопроводами, называется вращающим элементом счетчика.

Реализация цифрового счётчика электрической энергии (рис. 2.96) требует специализированных ИС, способных производить перемножение сигналов и предоставлять полученную величину в удобной для микроконтроллера форме. Например, преобразователь активной мощности — в частоту следования импульсов. Общее количество пришедших импульсов, подсчитываемое микроконтроллером, прямо пропорционально потребляемой электроэнергии.

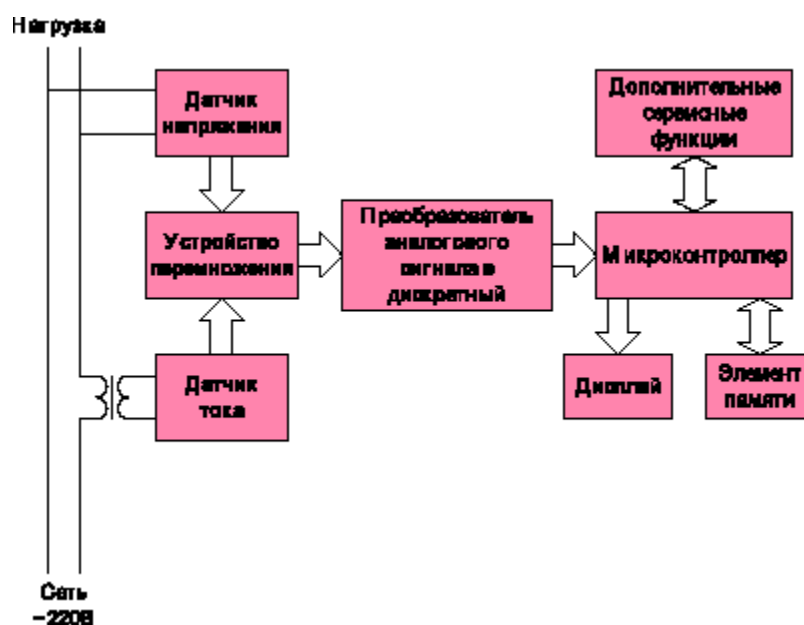


Рисунок 2.96 - Блок-схема цифрового счетчика электрической энергии

Не менее важную роль играют всевозможные сервисные функции, такие как дистанционный доступ к счётчику, к информации о накопленной энергии и многие другие. Наличие цифрового дисплея, управляемого от микроконтроллера, позволяет программно устанавливать различные режимы вывода информации, например, выводить на дисплей информацию о потреблённой энергии за каждый месяц, по различным тарифам и так далее.

Для выполнения некоторых нестандартных функций, например, согласования уровней, используются дополнительные ИС. Сейчас начали выпускать специализированные ИС — преобразователи мощности в частоту — и специализированные микроконтроллеры, содержащие подобные преобразователи на кристалле. Но, зачастую, они слишком дороги для использования в коммунально-бытовых индукционных счётчиках. Поэтому многие мировые производители микроконтроллеров разрабатывают специализированные микросхемы, предназначенные для такого применения.

Перейдём к анализу построения простейшего варианта цифрового счётчика на наиболее дешёвом (менее доллара) 8-разрядном микроконтроллере Motorola. В представленном решении реализованы все минимально необходимые функции. Оно базируется на использовании недорогой ИС преобразователя мощности в частоту импульсов КР1095ПП1 и 8-разрядного микроконтроллера МС68НС05КJ1 (рис. 2.97). При такой структуре микроконтроллеру требуется суммировать число импульсов, выводить информацию на дисплей и осуществлять её защиту в различных аварийных режимах. Рассматриваемый счётчик фактически представляет собой цифровой функциональный аналог существующих механических счётчиков, приспособленный к дальнейшему усовершенствованию.

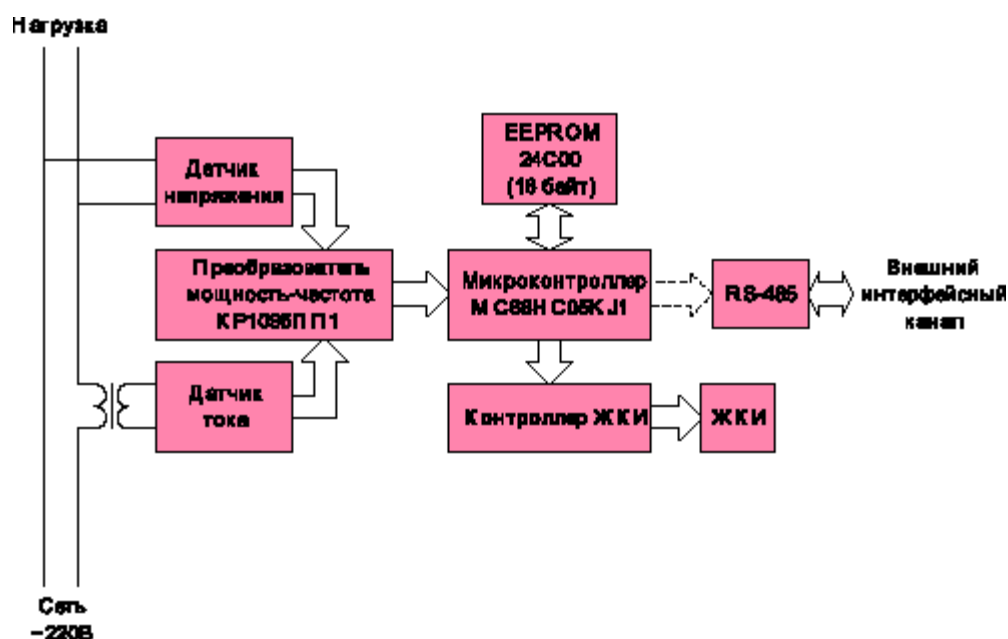


Рисунок 2.97 - Основные узлы простейшего цифрового счетчика электроэнергии

Сигналы, пропорциональные напряжению и току в сети, снимаются с датчиков и поступают на вход преобразователя. ИС преобразователя перемножает входные сигналы, получая мгновенную потребляемую мощность. Этот сигнал поступает на вход микроконтроллера, преобразующего его в Вт·ч и, по мере накопления сигналов, изменяющего показания счётчика. Частые сбои напряжения питания приводят к необходимости использования EEPROM для сохранения показаний счётчика. Поскольку сбои по питанию являются наиболее характерной аварийной ситуацией, такая защита необходима в любом цифровом счётчике.

Алгоритм работы программы (рис. 2.98) для простейшего варианта такого счётчика довольно прост. При включении питания микроконтроллер конфигурируется в соответствии с программой, считывает из EEPROM последнее сохранённое значение и выводит его на дисплей. Затем контроллер переходит в режим подсчёта импульсов, поступающих от ИС преобразователя, и, по мере накопления каждого Вт·ч, увеличивает показания счётчика.

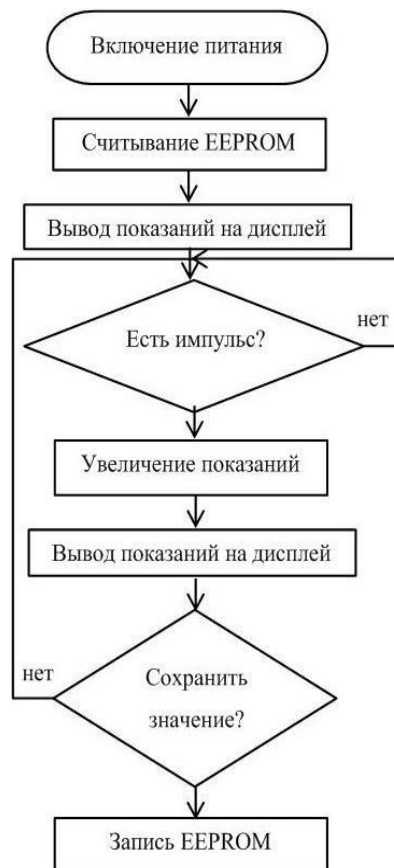


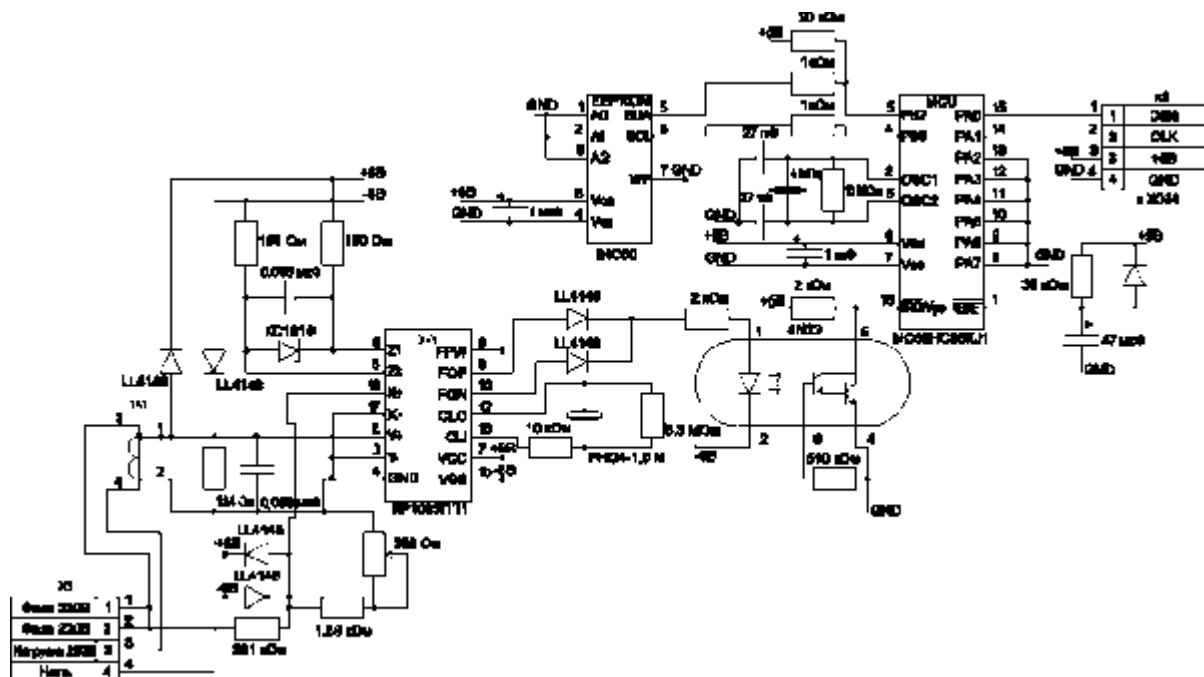
Рисунок 2.98 - Алгоритм работы программы

При записи в EEPROM значение накопленной энергии может быть утеряно в момент отключения напряжения. По этим причинам значение накопленной энергии записывается в EEPROM циклически друг за другом через определённое число изменений показаний счётчика, заданное программно, в зависимости от требуемой точности. Это позволяет избежать потери данных о накопленной энергии. При появлении напряжения микроконтроллер анализирует все значения в EEPROM и выбирает последнее. Для минимальных потерь достаточно записывать значения с шагом 100 Вт·ч. Эту величину можно менять в программе.

Схема цифрового вычислителя показана на рис. 2.99. К разъёму X1 подключается напряжение питания 220 В и нагрузка. С датчиков тока и напряжения сигналы поступают на микросхему преобразователя КР1095ПП1 с оптронной развязкой частотного выхода. Основу счётчика составляет микроконтроллер MC68HC05KJ1 фирмы Motorola, выпускаемый в 16-выводном корпусе (DIP или SOIC) и имеющий 1,2 Кбайт ПЗУ и 64 байт ОЗУ. Для хранения накопленного количества энергии при сбоях по питанию используется EEPROM малого объёма 24C00 (16 байт) фирмы Microchip. В качестве дисплея используется 8-разрядный 7-сегментный ЖКИ, управляемый любым недорогим контроллером, обменивающийся с центральным микроконтроллером по протоколу SPI или I2C и подключаемый к разъёму X2.

Реализация алгоритма потребовала менее 1 Кбайт памяти и менее половины портов ввода/вывода микроконтроллера MC68HC05KJ1. Его возможностей достаточно, чтобы добавить некоторые сервисные функции, например, объединение счётчиков в сеть по интерфейсу RS-485. Эта функция

Определённый интерес представляет собой семейство 8-разрядных микроконтроллеров с расположенной на кристалле FLASH-памятью. Поскольку его можно программировать непосредственно на собранной плате, обеспечивается защищённость программного кода и возможность обновления ПО без монтажных работ.



Ещё более интересен вариант счётчика электроэнергии без внешней EEPROM и дорогостоящей внешней энергонезависимой ОЗУ. В нём можно при аварийных ситуациях фиксировать показания и служебную информацию во внутреннюю FLASH-память микроконтроллера. Это к тому же обеспечивает конфиденциальность информации, чего нельзя сделать при использовании внешнего кристалла, не защищённого от несанкционированного доступа. Такие счётчики электроэнергии любой сложности можно реализовать с помощью микроконтроллеров фирмы Motorola семейства HC08 с FLASH-памятью, расположенной на кристалле.

Переход на цифровые автоматические системы учёта и контроля электроэнергии — вопрос времени. Преимущества таких систем очевидны. Цена их будет постоянно падать. И даже на простейшем микроконтроллере такой цифровой счётчик электроэнергии имеет очевидные преимущества: надёжность за счёт полного отсутствия трущихся элементов; компактность; возможность изготовления корпуса с учётом интерьера современных жилых домов; увеличение периода поверок в несколько раз; ремонтпригодность и простота в обслуживании и эксплуатации. При небольших дополнительных аппаратных и программных затратах даже простейший цифровой счётчик может обладать

рядом сервисных функций, отсутствующих у всех механических, например, реализация многотарифной оплаты за потребляемую энергию, возможность автоматизированного учёта и контроля потребляемой электроэнергии.

Тема 2.6 Измерение магнитных величин

Измерения магнитных величин чрезвычайно разнообразны не только из-за видов магнитных полей (постоянного, переменного, импульсного), их различной интенсивности и пространственной направленности, но и тех многочисленных информативных параметров магнитных величин, которые подлежат определению в электромагнитных полях: магнитные потоки, индукция, напряженность магнитного поля, магнитный момент, магнитная проницаемость, намагниченность и ряд других.

Несмотря на разнообразие задач, решаемых с помощью магнитных измерений определяются обычно всего несколько основных магнитных величин: **магнитный поток Φ , магнитная индукция B , напряженность магнитного поля H** . Причем во многих способах измерения магнитных величин фактически измеряется не магнитная, а электрическая величина, в которую магнитная величина преобразуется в процессе измерения. Интересующая нас магнитная величина определяется расчетным путем на основании известных зависимостей между магнитными и электрическими величинами.

Единицы магнитных величин воспроизводятся с помощью соответствующих эталонов. У нас в стране имеется первичный эталон магнитной индукции и первичный эталон магнитного потока. Для передачи размера единиц магнитных величин от первичных эталонов рабочим средствам измерений используют рабочие эталоны, образцовые и рабочие меры магнитных величин и образцовые средства измерений. Примером передачи размера единиц может служить градуировка или поверка приборов

для измерения магнитных величин, которая проводится с помощью мер магнитных величин и образцовых средств измерений.

В качестве меры магнитной индукции (напряженности магнитного поля) могут быть использованы катушки специальной конструкции (например, кольца Гельмгольца, соленоид), по обмоткам которых протекает постоянный ток, постоянные магниты.

В качестве меры магнитного потока обычно используют взаимоиндуктивную меру магнитного потока, состоящую из двух гальванически не связанных между собой обмоток и воспроизводящую магнитный поток, сцепляющийся с одной из обмоток, когда по другой обмотке протекает электрический ток.

В настоящее время известно много разнообразных приборов и способов для измерения магнитной индукции, магнитного потока и напряженности магнитного поля. Как правило, прибор для измерения магнитных величин состоит из двух частей — измерительного преобразователя, назначением которого является преобразование магнитной величины в величину иного вида (электрическую, механическую), более удобную для дальнейших операций, и измерительного устройства для измерения выходной величины измерительного преобразователя.

Измерительные преобразователи, входной величиной которых является магнитная величина, называют магнито измерительными и в соответствии с видом выходной величины делят на три основные группы:

- магнитоэлектрические преобразователи (выходная величина электрическая);
- магнитомеханические (выходная величина механическая);
- магнитооптические (выходная величина оптическая).

В каждой из этих групп много разновидностей преобразователей, основой для создания которых служат те или иные физические явления. В качестве основных, наиболее широко используемых явлений могут быть следующие:

- явление электромагнитной индукции;
- силовое взаимодействие измеряемого магнитного поля с полем постоянного магнита или контура с током;
- гальваномагнитные явления;
- явление изменения магнитных свойств материалов в магнитном поле;
- явления, возникающие при взаимодействии микрочастиц с магнитным полем.

Измерения при помощи баллистического гальванометра.

Для измерения магнитного потока к гальванометру необходимо присоединить измерительную рамку с некоторым числом витков w , находящуюся в исследуемом постоянном магнитном поле. Витки рамки будут охватывать некоторый поток Φ_x .

В основу действия данного прибора положен принцип, согласно с которым первый наибольший отброс указателя баллистического гальванометра пропорционален числу потокосцеплений магнитного потока с витками измерительной рамки.

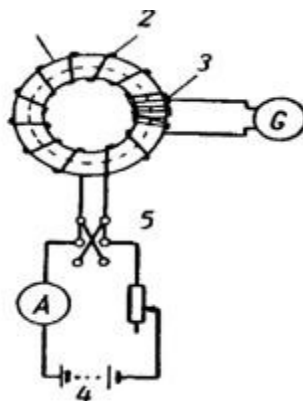


Рисунок 2.100 - Схема применения баллистического гальванометра для определения зависимости $B=f(H)$.

На кольцевой сердечник 1 из исследуемой стали накладывают две обмотки: намагничивающую 2 и измерительную 3. К измерительной обмотке подключается баллистический гальванометр. Намагничивающая обмотка питается от источника постоянного тока 4 через амперметр и реостат. Переключатель 5 позволяет изменять направление тока в обмотке.

Напряженность магнитного поля внутри кольцевого соленоида может быть подсчитана на основании закона полного тока по формулам:

$$H = \frac{0,4\pi w I}{l_{\Phi}} [\text{э}] \text{ или } H = \frac{w I}{l_{\Phi}} [A/cm] \quad (90)$$

где w_i — число витков намагничивающей обмотки; I — значение тока, А;
 l_{cp} — средняя длина силовой магнитной линии в салиноиде, отмеченная на рис. пунктиром и легко вычисляемая по геометрическим размерам испытуемого образца.

Для определения зависимости $B=f(H)$ в намагничивающей обмотке устанавливают ток, соответствующий заданному значению H и заранее подсчитанный по приведенной формуле, затем быстро изменяют направление тока в обмотке при помощи переключателя 5. При перемене направления тока магнитный поток в сердечнике изменится по некоторому

сложному закону от значения $+\Phi$ до значения $-\Phi$, т. е. изменение потока в измерительной рамке будет равно 2Φ , и с учетом этого подсчитывают поток в

сердечнике:

$$\Phi = \frac{1}{2} \alpha_{\max} C_0 \frac{R_0}{\omega_1} \quad (91)$$

Зная поток и поперечное сечение испытуемого образца, находят значение магнитной индукции

$$B = \frac{\Phi}{s} \quad (92)$$

где s — сечение образца.

Найденное значение B и ранее вычисленное значение H позволяют подсчитать магнитную проницаемость

$$\mu = \frac{B}{H} \quad (93)$$

Флюксметр

Весьма удобным прибором для измерения постоянного магнитного потока является флюксметр, называемый иногда веберметром или милливеберметром.

Флюксметр представляет собой прибор магнитоэлектрической системы, в котором подвод тока к подвижной рамке осуществляется не через пружинки, а через безмоментные спирали, т. е. в его измерительном механизме отсутствует противодействующий момент. Вследствие этого указатель флюксметра при отсутствии тока в обмотке рамки может занимать любое положение относительно шкалы.

Флюксметр, как и большинство гальванометров магнитоэлектрической системы, имеет бескаркасную рамку, однако он рассчитывается так, чтобы при внешнем сопротивлении, меньшем 20 Ом, подвижная часть оказывалась в режиме переуспокоения. Как и у баллистического гальванометра, подвижная часть флюксметра выполняется со сравнительно большим моментом инерции.

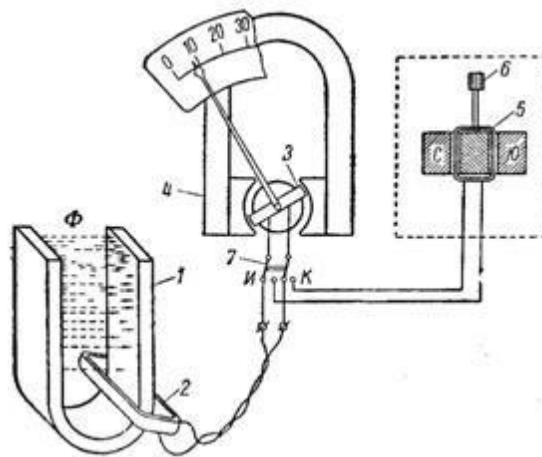


Рисунок 2.101 - Схема, поясняющая процесс измерения магнитного потока при помощи флюксметра.

Для измерения магнитного потока, например постоянного магнита 1, к зажимам флюксметра присоединяется измерительная рамка 2, состоящая из достаточного количества витков медной проволоки.

Если эту рамку надеть на испытуемый магнит так, как это показано на рис.2, то во время перемещения рамки 2 в ней будет наводиться э.д.с., создающая ток в цепи прибора. Под действием этого тока подвижная рамка 3 прибора начнет поворачиваться. После того как измерительная рамка 2 будет приведена в положение, показанное на рисунке, и остановлена, э.д.с., действовавшая в ней, исчезнет, но рамка 3 по инерции будет еще немного продолжать двигаться. Переместившись на некоторый угол α от начального положения, рамка 3 остановится.

Теория флюксметра показывает, что движение рамки прекращается после того, как число потокосцеплений витков рамки 3 с потоком магнита 4 изменится на столько же, сколько создалось потокосцеплений измерительной рамки 2 с измеряемым потоком Φ . Если успокоение прибора достаточно велико, для чего сопротивление цепи рамки не должно превышать некоторый определенный для данной конструкции предел (обычно 8—20 Ом), то между углом поворота стрелки флюксметра и измеряемым магнитным потоком будет иметь место простая зависимость

$$\alpha = \frac{w}{C_{\phi}} \Phi \quad (94)$$

где Φ — измеряемый поток; w — число витков измерительной рамки 2; C_{ϕ} — постоянная флюксметра в максвелл-витках или вебер-витках на одно деление шкалы.

Определение постоянной флюксметра C_{ϕ} производится таким же способом, как и определение постоянной баллистического гальванометра, с применением образцовых взаимных индуктивностей.

При описанном устройстве флюксметра работа с ним затрудняется из-за невозможности установки его подвижной части в нулевое положение, так как при

снятии катушки 2 с испытуемого магнита рамка 3 хотя и получит толчок в обратном направлении, но не придет точно в исходное нулевое положение.

Флюксметр является прибором менее чувствительным, чем баллистический гальванометр, и поэтому не может применяться для измерения слабых магнитных полей. При измерении достаточно сильных полей флюксметр имеет ряд преимуществ по сравнению с баллистическим гальванометром. Постоянная флюксметра практически не изменяется при изменении внешнего сопротивления цепи рамки в достаточно широких пределах от нуля до 8—20 Ом. Наибольшее допустимое значение этого сопротивления указано на шкале прибора. Показания флюксметра остаются

правильными при изменении в широких пределах скорости удаления (или внесения) измерительной рамки из магнитного поля. При работе с баллистическим гальванометром эта операция должна производиться

очень быстро (за 0,1—0,2 секунды) Указатель флюксметра, отклонившись на определенный угол, остается в

этом положении неподвижным достаточно долго для спокойного отсчета показаний.

В противоположность этому, при работе с баллистическим гальванометром для обеспечения правильности

отсчета максимального отклонения указателя требуется большое напряжение внимания.

Раздел 3 Измерение параметров элементов и компонентов электрических и электронных цепей

Тема 3.1 Измерение сопротивлений

Электрические и радиотехнические цепи с сосредоточенными постоянными состоят из резисторов, катушек индуктивности, конденсаторов и соединяющих проводов. Для отбора этих элементов или их проверки следует измерять активное, реактивное и полное сопротивления, индуктивность, емкость и взаимную индуктивность. Кроме того, часто измеряют потери в конденсаторах и добротность катушек и колебательных контуров. Для этих измерений применяют методы вольтметра и амперметра, мостовой, резонансный метод и метод дискретного счета.

Метод вольтметра и амперметра – косвенный способ определения различных сопротивлений, позволяющий ставить элемент с определенным сопротивлением в рабочие условия. Этот метод основан на использовании закона Ома для участка цепи, сопротивление R_x которого определяется по известному падению напряжения U_x на нем и току I_x так:

$$R_x = U_x / I_x, \quad (95)$$

Существуют различные способы измерения падения напряжения U_x и тока I_x (рис. 3.1).

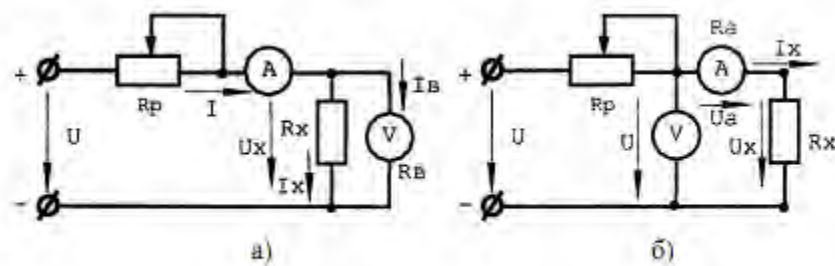


Рисунок 3.1 - Способы измерения падения напряжения U_x и тока I_x

Измерительные части приведенных схем не обеспечивают одновременное измерение напряжения U_x и тока I_x . Так первая схема (рис. 7.1 а) позволяет измерить с помощью вольтметра напряжение U_x . Амперметр дает возможность определить ток I , равный сумме I_x и I_v , из которой последний является током обмотки вольтметра. В этом случае определяемое сопротивление:

$$R_x = \frac{U_x}{I_x} = \frac{U_x}{I - I_x} = \frac{U_x}{I - \frac{U_x}{R_v}}, \quad (96)$$

где R_v – сопротивление вольтметра.

Во второй схеме (рис. 3.1 б) амперметр учитывает ток I_x , но вольтметр показывает напряжение U , равное сумме падений напряжений U_x на сопротивлении R_x и U_a на амперметре. Поэтому определяемое сопротивление:

$$R_x = \frac{U_x}{I_x} = \frac{U - U_a}{I_x} = \frac{U}{I_x} - \frac{U_a}{I_x} = \frac{U}{I_x} - R_a, \quad (97)$$

где R_a – сопротивление амперметра.

Следовательно, если при расчете определяемого сопротивления учитывать сопротивления приборов, то все схемы равноценны. Если определяемое сопротивление R_x мало по сравнению с сопротивлением вольтметра R_v , током I_v можно пренебречь и, применяя первую схему (рис. 3.1 а), находить сопротивление R_x так:

$$R_x = R'_x = \frac{U_x}{I}, \quad (98)$$

допуская относительную погрешность

$$\gamma'_a = \frac{R'_x - R_x}{R_x}, \quad (99)$$

где R'_x – измеренное значение сопротивления.

Учитывая, что $R'_x = \frac{R_x \cdot R_a}{R_x + R_a}$, имеем

$$\gamma'_a = -\frac{R_x}{R_x + R_a}, \quad (100)$$

В случаях, когда определяемое сопротивление R_x сравнимо с сопротивлением вольтметра R_v и пренебречь током I_v нельзя, следует пользоваться второй схемой (рис. 3.2 б) и при расчете не учитывать падение напряжения U_a на амперметре, определяя сопротивление R_x так:

$$R_x = R'_x = U / I_x \quad (101)$$

при относительной погрешности измерения

$$\gamma''_a = \frac{R'_x - R_x}{R_x}, \quad (102)$$

Учитывая, что $R'_x = R_x + R_a$ имеем

$$\gamma''_a = \frac{R_a}{R_x + R_a} = \frac{R_a}{R_x}. \quad (103)$$

Для выявления пределов целесообразности использования той или другой схемы следует приравнять относительные погрешности, а затем найти значение сопротивления R_x , для которого обе схемы равноценны:

$$\frac{R_x}{R_x + R_n} = \frac{R_x}{R_x}, \quad (104)$$

или

$$R_x^2 - R_n \cdot R_x - R_n \cdot R_n = 0.$$

Откуда

$$R_x \cong \sqrt{R_n \cdot R_n}. \quad (105)$$

Следовательно, для определения «малых» сопротивлений предпочтительна схема 1 (рис. 3.1 а), а для определения «больших» сопротивлений схема 2 (рис. 3.1 б).

При определении сопротивлений методом вольтметра и амперметра следует выбирать магнитоэлектрические приборы с такими пределами измерений, чтобы показания их были близки к номинальным значениям, т.к. это обеспечивает меньшие погрешности измерения.

Показывающие приборы, служащие для непосредственного измерения электрического сопротивления, называются омметрами. В качестве измерительного механизма в таких приборах обычно используются магнитоэлектрические системы. Диапазон измеряемых величин определяется конструкцией и электрической схемой омметра, и в зависимости от этого появляются приставки «кило», «мега», «тера».

По принципу действия омметры подразделяются на две группы: омметры, показания которых зависят от напряжения источника питания, и омметры, показания которых не зависят от него. Кроме того, для измерения больших сопротивлений применяются электронные омметры.

Омметры первой группы содержат однорамочный магнитоэлектрический механизм (миллиамперметр), а второй группы – логометр магнитоэлектрической системы, подвижная часть которого обычно содержит две рамки (катушки).

На рисунке 3.2 приведены схемы омметров с последовательным и параллельным соединением подвижной катушки (рамки) магнитоэлектрического измерительного механизма М измеряемым сопротивлением R_x .

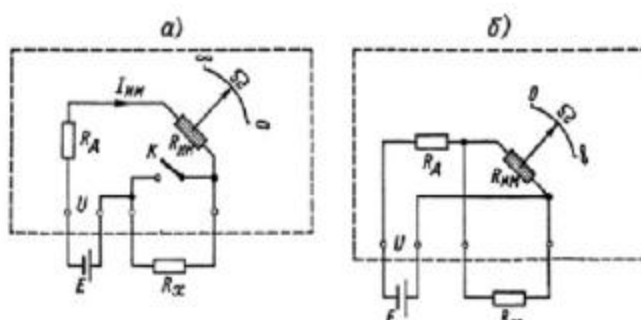


Рисунок 3.2 - Схемы однорамочных омметров

Омметры с последовательным включением R_x обычно измеряют большие сопротивления (килоомы, мегаомы), а параллельным – малые (от долей ома до килоом).

Использование аккумуляторных или гальванических батарей позволяет изготавливать омметры в виде переносных приборов. Точность таких приборов 1,5 – 2,5 %.

В качестве измерительного механизма в двухрамочных омметрах используется логометр. Схемы омметров с логометрами показаны на рисунке 3.3.

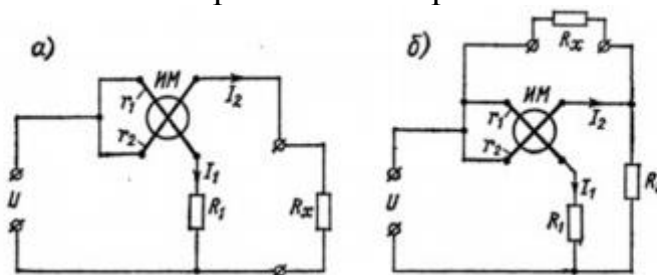


Рисунок 3.3 - Схемы омметров с логометрами (r_1 и r_2 – сопротивления логометра; R_1 и R_2 – постоянно включенные резисторы; I_1 и I_2 – токи в рамках логометра, отношение которых зависит от измеряемого сопротивления R_x)

При последовательном соединении R_x с рамкой логометра измеряют большие сопротивления (108 - 1010 Ом); такую схему имеют мегаомметры, предназначенные для измерения сопротивления изоляции.

В приборах такого типа в качестве источника используется генератор постоянного тока с ручным приводом, обеспечивающим измерительную схему необходимым напряжением (100, 500, 1000, 2000 и 2500 В).

При измерении малых сопротивлений измеряемое сопротивление включают параллельно логометру. Для расширения диапазона измерения омметра в одном приборе объединяют обе схемы и с помощью специального переключателя в зависимости от значения измеряемого сопротивления соединяют его либо последовательно, либо параллельно с рамкой логометра.

Схемы вариантов построения *электроомеханических омметров* представлены на рисунке 3.4.

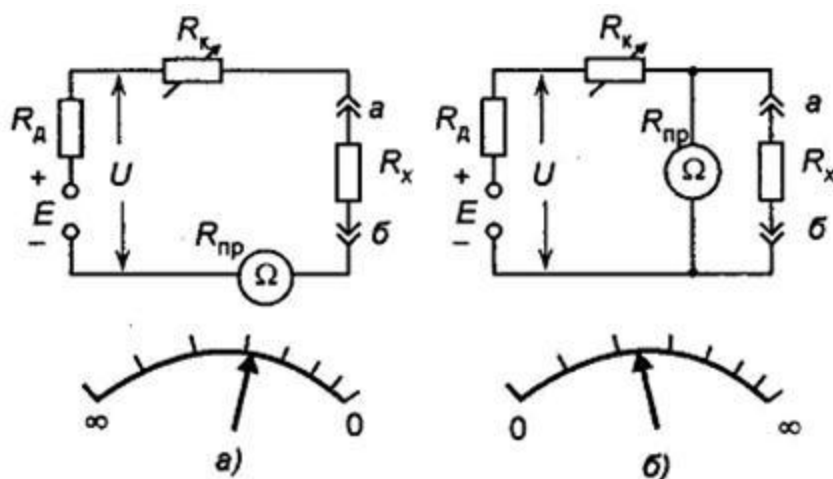


Рисунок 3.4 - Схемы омметров с последовательным (а) и параллельным (б) соединением элементов цепи

Принцип действия электромеханических омметров основан на зависимости тока, протекающего через прибор, от величины измеряемого сопротивления включенного в измерительную цепь. При последовательной схеме включения элементов измерительной цепи величина тока, протекающий через прибор, обратно пропорциональна значению измеряемого сопротивления:

$$I = \frac{U}{R_E + R_C + R_x} \quad (106)$$

При замкнутых входных контактах ток в цепи максимален, а при разомкнутых – равен нулю, поэтому у приборов данного типа шкала неравномерная и обратная. Перед началом измерений можно проверить исправность таких приборов и произвести установку указателя прибора на нулевую отметку его шкалы путем замыкания накоротко его входных контактов. Необходимость этого вызвана тем, что с течением времени напряжение источника питания уменьшается и в результате нарушается градуировка шкалы прибора.

Последовательные схемы обычно применяют для измерения сравнительно больших сопротивлений. Это объясняется тем, что в данной схеме малые сопротивления слабо влияют на изменение тока в измерительной цепи.

При параллельном соединении измеряемого сопротивления и миллиамперметра ток, протекающий через прибор, с увеличением измеряемого сопротивления растет и шкала прибора прямая и равномерная. Такой прибор калибруется при разомкнутых зажимах, при этом стрелка прибора устанавливается в крайнее правое положение. Параллельную схему включения прибора используют для измерения сравнительно малых сопротивлений, так как большие сопротивления будут мало влиять на показания прибора. Уравнение шкалы такого прибора имеет вид:

$$\alpha = S \cdot U \frac{R_D + R_E}{R_D \cdot R_E + R_E \cdot (R_D + R_E)} \quad (107)$$

Для обоих вариантов схем включения прибора его шкала не равномерная.

Измерение сопротивления мостом постоянного тока

Для измерения величин сопротивления используют мостовые схемы. Схема моста постоянного тока приведена на рисунке 3.5.

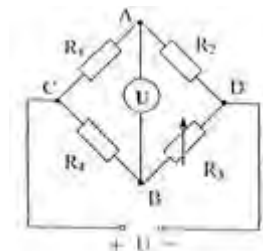


Рисунок 3.5 – Схема моста постоянного тока

Мост содержит четыре резистора $R1$, $R2$, $R3$, $R4$ - образующих четыре плеча AC , AD , DB , BC . В диагональ AB включен индикатор нуля, а в диагональ CD - источник питания схемы. Изменяя сопротивления плеч моста, можно добиться равенства потенциалов в точках A и B , а следовательно отсутствие тока через индикатор. Если будет выполняться условие $R1 \cdot R3 = R2 \cdot R4$, то ток в цепи индикатора будет отсутствовать. Это условие еще называют балансом моста и резистор $R4$, включенный в плечо, смежное по отношению к измеряемому, называют образцовым плечом сравнения. Он является основным элементом при определении сопротивления R_x . Отношение сопротивлений $R2/R3$ меняется скачкообразно с кратностью 10n. Это обеспечивает широкие пределы измерений.

Особенности измерения сопротивления заземления и изоляции

Измерение сопротивления изоляции

Согласно правилам устройства электроустановок (ПУЭ) требуется:

- 1 Испытывать сопротивление изоляции, мегомметром с $U = 1000V$.
- 2 Сопротивление изоляции должно было быть не ниже 0,5 МОм.

Сопротивление изоляции проводов, кабелей, электрических машин, не находящихся под напряжением измеряют с помощью мегомметра. Прибор, кроме

двух зажимов (Л-линия, З-земля) имеет третий зажим Э-экран) для отвода поверхностного тока.

Особенность таких измерений – устранение влияния токов поверхностной утечки I_s на результат измерения объемного сопротивления изоляции.

Для этого на изоляцию концов кабеля накладываются металлические защитные кольца К, которые подключают к зажиму З(земля) мегомметра.

В этом случае ток по поверхности изоляции кабеля проходит между защитными кольцами К и экраном Э кабеля, минуя рамки логометра. Разность потенциалов между защитными кольцами и жилой кабеля мала по сравнению с рабочим напряжением прибора, и на этом участке поверхности изоляции ток практически не проходит. Т. о. показания прибора зависят лишь от тока в объеме изоляции между жилой и экраном кабеля. З и Л – входные зажимы мегомметра. Г – генератор повышенного напряжения с ручным приводом.

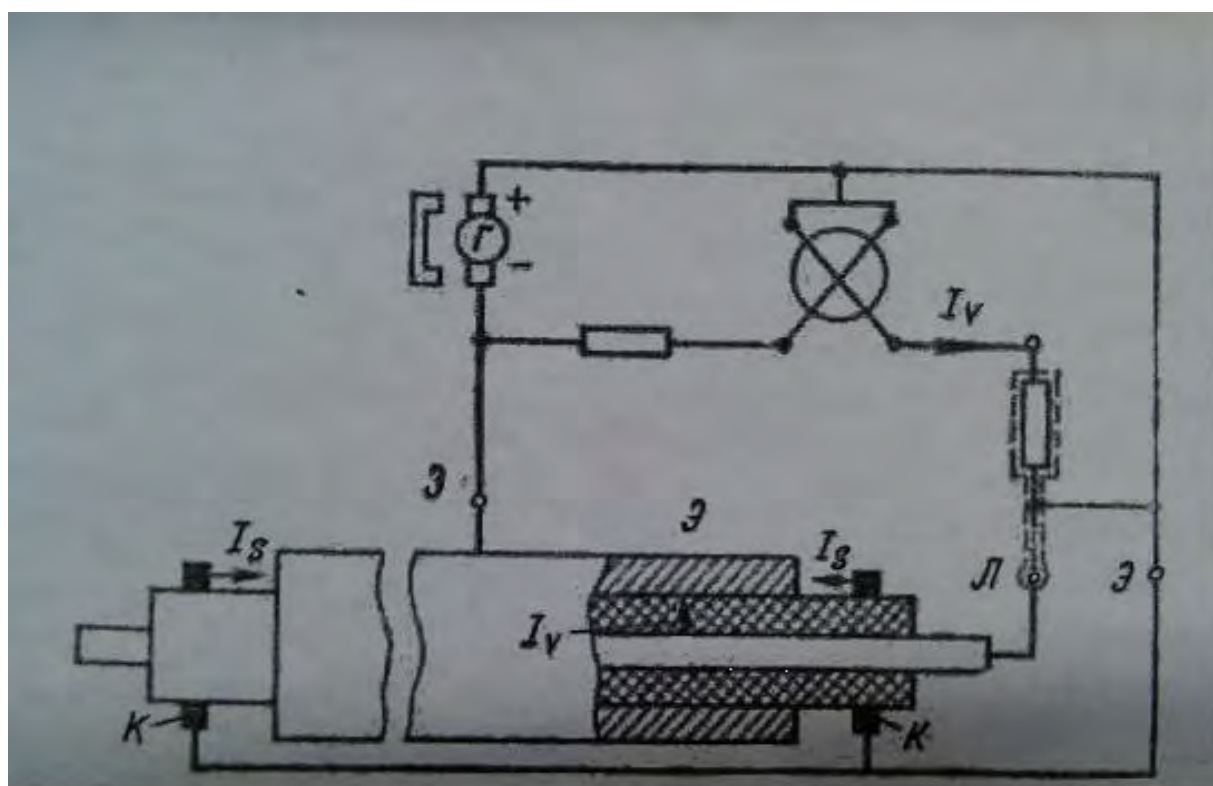


Рисунок 3.6 - Измерение сопротивления изоляции

Измерение сопротивления заземления

Защитным заземлением называется преднамеренное электрическое соединение с землей или эквивалентом металлических нетоковедущих частей, которые могут оказаться под напряжением вследствие замыкания на корпус.

Задача защитного заземления – устранение опасности поражения током в случае прикосновения к корпусу и другим нетоковедущим металлическим частям электроустановки, оказавшейся под напряжением.

Принцип действия заземления – снижение напряжения между корпусом, оказавшимся под напряжением, и землей до безопасного значения.

Заземляющие устройства после монтажных работ и периодически не реже один раз в год испытываются по программе Правил устройства электроустановок. По программе испытания производится измерение сопротивления заземляющего устройства.

Сопротивление заземляющего устройства, к которому присоединены нейтраль генераторов или трансформаторов или выводов источников однофазного тока, в любое время года должно быть не более 2, 4, 8 Ом соответственно при линейных напряжениях 660, 380, и 220 В источника трехфазного тока или 380, 220 и 127 В источника однофазного тока.

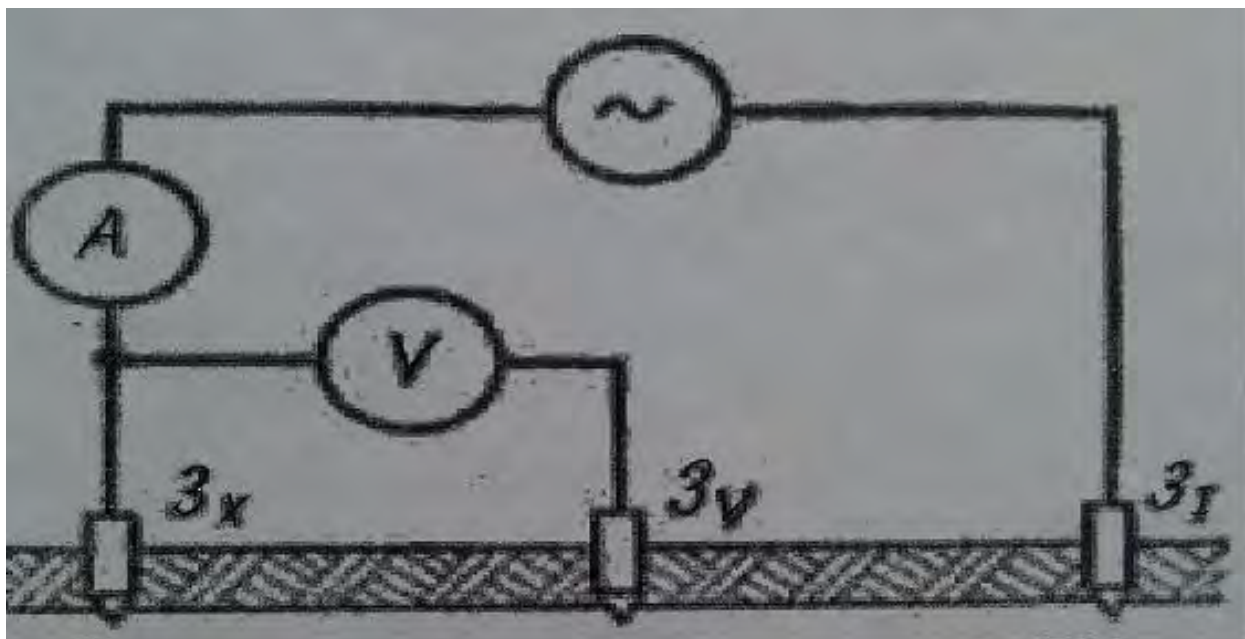


Рисунок 3.7 - Схема измерения сопротивления заземления методом амперметра и вольтметра

В схеме применяем два дополнительных заземлителя: токовый Z_г, который служит для создания контура с током и потенциальный Z_v, к которому подключают один из полюсов вольтметра.

Расстояние от исследуемого до потенциального заземлителя - 20 м, а до токового от 40 до 60 м.

Сопротивление заземления рассчитывают по формуле

$$R_X = UV/IA \quad (108)$$

где UV - показания вольтметра; IA - показания амперметра

Измерение сопротивления контура заземляющего устройства

Источником питания служат три соединенные последовательно сухие измерителем заземления М416 или Ф4103-М1.

Описание измерителя заземления М416

Измерители заземления М416 предназначены для измерения сопротивления заземляющих устройств, активных сопротивлений и могут быть использованы для определения удельного сопротивления грунта (ρ). Диапазон измерения прибора от 0,1 до 1000 Ом и имеет четыре диапазона измерения: 0,1 ... 10 Ом, 0,5 ... 50 Ом, 2,0 ... 200 Ом, 100 гальванические элемента напряжением по 1,5 В.



Рисунок 3.8 - Измеритель заземления М416

Измеритель сопротивления заземления Ф4103-М1

Измеритель сопротивления заземления Ф4103-М1 предназначен для измерения сопротивления заземляющих устройств, удельного сопротивления грунтов и активных сопротивлений как при наличии помех, так и без них с диапазоном измерений от 0-0,3 Ом до 0-15 Ком (10 диапазонов).

Измеритель Ф4103 является безопасным.

При работе с измерителем в сетях с напряжением выше 36 В необходимо выполнять требования безопасности, установленные для таких сетей. Класс точности измерительного прибора Ф4103 – 2,5 и 4 (в зависимости от диапазона измерения).

Питание – элемент (R20, RL20) 9 шт. Частота оперативного тока – 265-310 Гц. Время установления рабочего режима - не более 10 секунд. Время установления показаний в положении "ИЗМ I" - не более 6 секунд, в положении "ИЗМ II" - не более 30 секунд. Продолжительность непрерывной работы не ограничена. Норма средней наработки на отказ - 7250 часов. Средний срок службы - 10 лет Условия эксплуатации - от минус 25 ° С до плюс 55 ° С. Габаритные размеры, мм – 305х125х155. Масса, кг , не более – 2,2.



Рисунок 3.9 - Измеритель сопротивления заземления Ф4103-М1

Перед проведением измерений измерителем Ф4103 необходимо, по возможности, уменьшить количество факторов, вызывающих дополнительную погрешность, например, устанавливать измеритель практически горизонтально, вдали от мощных электрических полей, использовать источники питания $12 \pm 0,25\text{В}$, индуктивную составляющую учитывать только для контуров, сопротивление которых меньше $0,5\text{ Ом}$, определять наличие помех и так далее. Помехи переменного тока выявляются по качаниям стрелки при вращении ручки ПДСТ в режиме "ИЗМ". Помехи импульсного (скачкообразного) характера и высокочастотные радиопомехи выявляются по постоянным неперiodическим колебаниям стрелки.

Порядок проведения измерения сопротивления контура защитного заземления

1. Установить элементы питания в измеритель заземления.
2. Установить переключатель в положение «Контроль $5\text{ }\Omega$ », нажать кнопку и вращением ручки «реохорд» добиться установки стрелки индикатора в нулевую отметку шкалы.
3. Подключить соединительные провода к прибору, как показано на рисунке 3.10, если измерения производятся прибором М416 или рисунке 3.11, если измерения производятся прибором Ф4103-М1.
4. Углубить дополнительные вспомогательные электроды (заземлитель и зонд) по схеме рис. 1 и 2 на глубину $0,5\text{ м}$ и подключить к ним соединительные провода.
5. Переключатель установить в положение «X1».
6. Нажать кнопку и вращая ручку «реохорда» приблизить стрелку индикатора к нулю.
7. Результат измерения умножить на множитель.

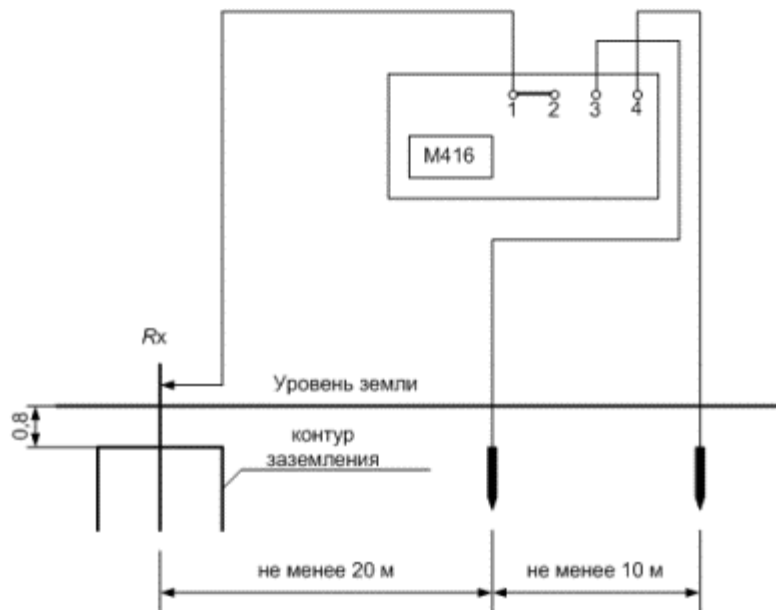


Рисунок 3.10- Схема подключения прибора М416

Подключение прибора М416 для измерения сопротивления контура заземления

Измеритель сопротивления заземления
Ф4103-М1

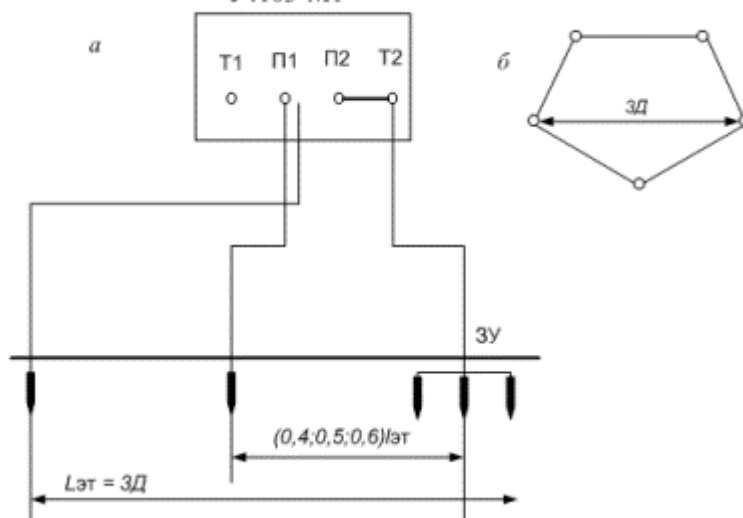


Рисунок 3.11 - Схема подключения прибора Ф4103-М1

Подключение прибора Ф4103-М1 для измерения сопротивления контура заземления: а – схема подключения; б – контур заземления

Тема 3.2 Измерение параметров конденсаторов и катушек индуктивности

Измерение параметров конденсаторов

Общие сведения

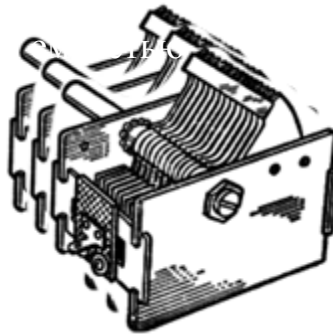


Рисунок 3.12 - Конденсатор с переменной емкостью



Рисунок 3.13 - Конденсатор с постоянной емкостью

В электронных устройствах применяются конденсаторы многих типов и различных назначений. Возможные значения их ёмкостей лежат примерно в пределах от 1 пФ до 1000 мкФ. В области высоких и сверхвысоких частот объектами измерений могут также явиться весьма малые межэлектродные ёмкости электронных приборов и паразитные ёмкости между различными элементами схемы (ёмкости монтажа). Допустимая погрешность изменения ёмкостей конденсаторов зависит от области применения последних. Ёмкостей конденсаторов, входящих в состав колебательных систем, должна определяться особенно тщательно, с погрешностью, по крайней мере, 1%. При выборе конденсаторов блокировочных, разделительных, связи и т.п. обычно допускается значительный (до 20-50%) разброс ёмкостей и измерение их можно производить простейшими методами.

Для измерения параметров конденсаторов применяются методы:

- 1 Метод вольтметра-амперметра;
- 2 Метод непосредственного измерения при помощи микрофарадометров;
- 3 Метод сравнения (замещения);
- 4 Мостовой метод;
- 5 Резонансный метод;

Измерение ёмкостей методом вольтметра-амперметра

Метод вольтметра - амперметра применяют для измерения сравнительно больших ёмкостей.

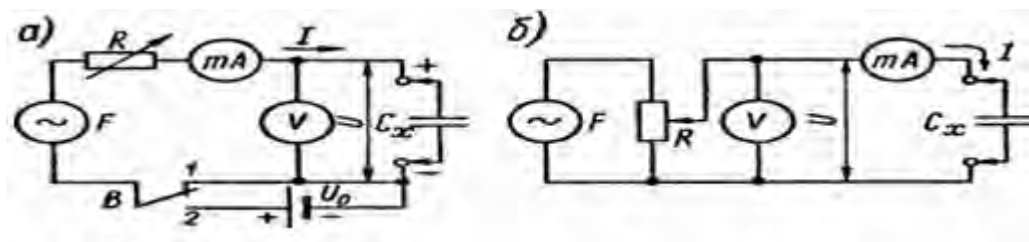


Рисунок 3.14 - Схемы измерения ёмкостей методом вольтметра-амперметра

Схема измерений представлена в двух вариантах на рис. 3.14. Проверяемый конденсатор C_x включается в цепь переменного тока известной частоты F , и реостатом (или потенциометром) R устанавливают требуемое по условиям испытания либо удобное для отсчёта значение тока I или напряжения U . По показаниям приборов переменного тока V и mA можно рассчитать полное сопротивление конденсатора.

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} = U/I, \quad (109)$$

где R и $X = 1/(2\pi F C_x)$ - соответственно его активная и реактивная составляющие.

Если потери малы, т. е. $R \ll X$, то измеряемая ёмкость определяется формулой.

$$C_x = I / (2 \cdot \pi \cdot F \cdot U). \quad (110)$$

Схема на рис.3.14 а, даёт достаточно точные результаты при измерении больших ёмкостей, сопротивление которых X значительно меньше входного сопротивления вольтметра V . Схема на рис. 3.14б, применяется для измерения меньших ёмкостей, сопротивление которых в десятки и более раз превышает сопротивление миллиамперметра mA .

Метод непоследовательного измерения при помощи микрофарадометров



Рисунок 3.15 - Микрофарадометр

Приборы у которых оценка измеряется ёмкостей производится непосредственно по шкале стрелочного измерителя, называется микрофарадметрами.

Действие этих приборов может базироваться на использовании зависимости тока или напряжения в цепи, питаемой источником переменного тока, от значения измеряемой ёмкости включённого в неё конденсатора.

Для измерения емкостей широкое применение получили микрофарадометры электромагнитной системы типа ЭФ (электромагнитный фарадометр).

Микрофарадометр ЭФ (рисунок 3.15) представляет собой электромагнитный логометр, состоящий из двух катушек и фигурного железного сердечника, насаженного на общую ось с указательной стрелкой.

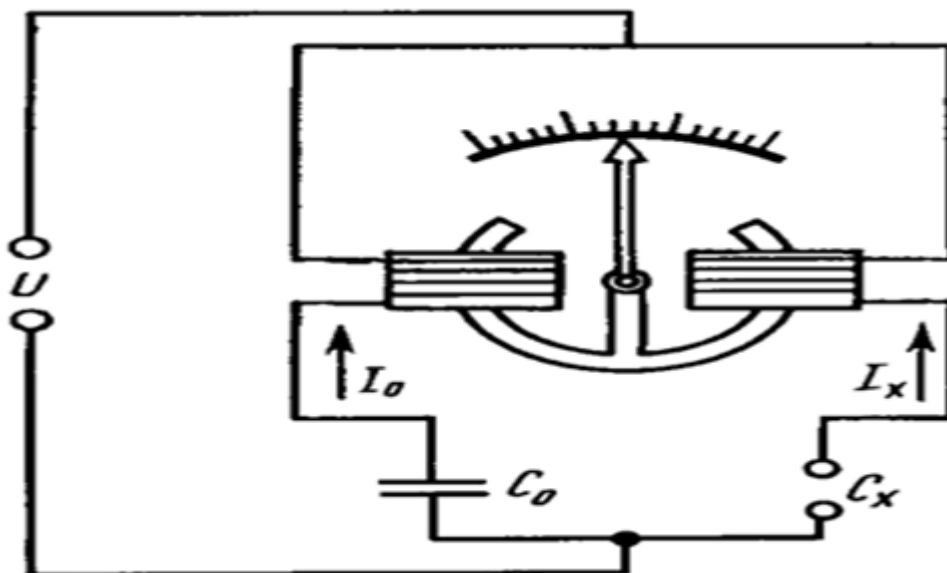


Рисунок 3.16 - Устройство микрофарадометра электромагнитной системы

Последовательно одной катушке включена известная емкость C_0 , а последовательно другой – измеряемая емкость C_x . Обе катушки включаются в сеть параллельно и по ним будут проходить токи I_0 и I_x .

Под действием токов сердечник втягивается одной и второй катушками. Угол поворота его определяется отношением токов в катушках $I_0:I_x$ или емкостей $C_0:C_x$. Следовательно, по углу отклонения указательной стрелки можно определить измеряемую емкость. Шкала прибора проградуирована непосредственно в микрофарадах.

Аналогично устроен микрофарадометр электродинамической системы.

Измерение ёмкостей методом сравнения (замещения)

Данный метод базируется на сравнении действия, оказываемого измеряемой ёмкостью C_x и известной ёмкостью C_0 на режим измерительной схемы.

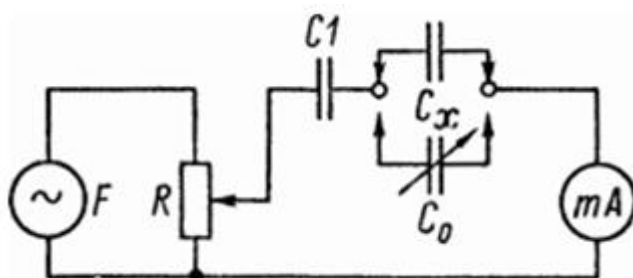


Рисунок 3.17 - Схема измерения емкости

Простейшая схема измерений, в которой ёмкости C_x и C_0 сравниваются по значению их сопротивления переменному току, приведена на рис. 3.17. При включении конденсатора C_x потенциометром R устанавливают в цепи ток, удобный для отсчёта или контроля по миллиамперметру переменного

тока мА или другому низкоомному индикатору. Затем вместо конденсатора C_x присоединяют к схеме магазин ёмкостей или образцовый (опорный) конденсатор переменной ёмкости и изменением его ёмкости C_0 добиваются прежнего показания индикатора. Это будет иметь место при $C_0 = C_x$. Погрешность измерений зависит от чувствительности индикатора и погрешности отсчёта ёмкости C_0 ; она может быть получена равной примерно 1% и менее.

Мостовой метод измерения параметров конденсаторов

Простейший магазинный мост, пригодный для измерения ёмкостей в десятки и сотни пикофард, может быть составлен из четырёх конденсаторов: измеряемого, переменного со шкалой ёмкостей (в смежном плече) и двух постоянных с одинаковой ёмкостью (сотни пикофард)

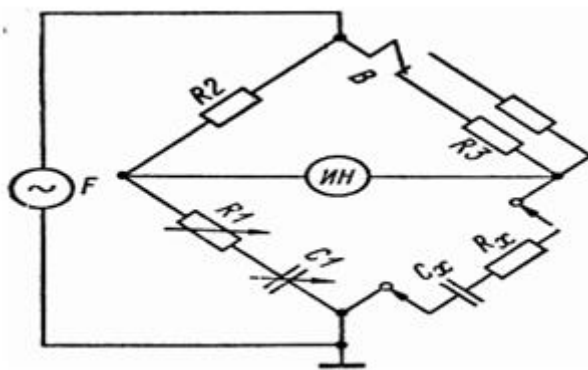


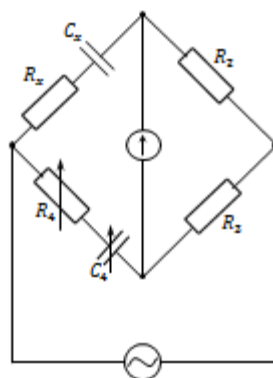
Рисунок 3.18 - Схема многопредельного магазинного моста

На рис. 3.18 приведена схема многопредельного магазинного моста. Его уравнивают с помощью конденсатора переменной ёмкости C_1 и переменного резистора R_1 . Применяя к данной схеме условие равновесия, получаем

$$R_2 \cdot (R_x + 1/(2\pi F C_x)^2)^{0,5} = R_3 \cdot (R_1 + 1/(2\pi F C_1)^2)^{0,5} \quad (111)$$

При фиксированном отношении сопротивлений плеч R_2/R_3 конденсатор C_1 и резистор R_1 можно снабдить шкалами с отсчётом соответственно в значениях ёмкостей C_x и сопротивлений потерь R_x . Расширение диапазона измерений достигается применением группы переключаемых резисторов R_3 (или R_2) различных номиналов, обычно различающихся в 10 раз.

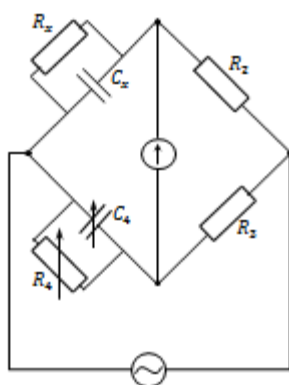
Также можно использовать мосты переменного тока



$$C_x = C_4 \frac{R_3}{R_2}$$

$$R_x = R_4 \frac{R_2}{R_3}$$

$$\operatorname{tg} \delta x = \omega R_4 C_4$$



$$C_x = C_4 \frac{R_3}{R_2}$$

$$R_x = R_4 \frac{R_2}{R_3}$$

$$\operatorname{tg} \delta x = \frac{1}{\omega R_4 C_4}$$

Рисунок 3.19 - Схема мостов переменного тока

Измерение параметров катушек индуктивности

Катушка индуктивности — винтовая, спиральная или винтоспиральная катушка из свёрнутого изолированного проводника, обладающая значительной индуктивностью при относительно малой ёмкости и малом активном сопротивлении.



Рисунок 3.20- Условно- графическое обозначение катушки индуктивности

Катушка индуктивности в электрической цепи постоянного тока обладает постоянным сопротивлением, равным сопротивлению проводника из которого она изготовлена.

Основным параметром катушки индуктивности является её индуктивность, численно равная отношению создаваемого током потока магнитного поля, пронизывающего катушку к силе протекающего тока.

Единица измерения генри [Гн].

Индуктивность катушки пропорциональна линейным размерам катушки, магнитной проницаемости сердечника и квадрату числа витков намотки.

$$L \sim \mu \frac{SN^2}{l} \quad (112)$$

Катушка индуктивности накапливает энергию в магнитном поле. При повышении внешней ЭДС катушка препятствует увеличению тока, при снижении ЭДС – поддерживает ток, отдавая накопленную энергию. В цепи синусоидального тока, ток в катушке по фазе отстаёт от фазы напряжения на ней на $\pi/2$.

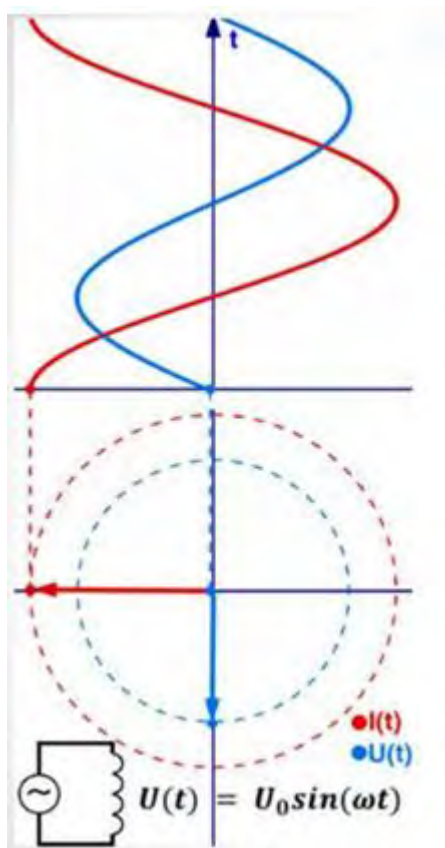


Рисунок 3.21

Применение катушек индуктивности:

- для построения различных цепей с частотно-зависимыми свойствами, в частности, фильтров, цепей обратной связи, колебательных контуров и т.п.;
- две и более индуктивно связанные катушки образуют трансформатор;
- в качестве электромагнитов;
- для радиосвязи — приёма электромагнитных волн;
- в индукционных печах;
- как датчик перемещения: изменение индуктивности катушки может изменяться в широких пределах при перемещении ферромагнитного сердечника относительно обмотки;
- катушка индуктивности используется в индукционных датчиках магнитного поля;
- в динамиках и микрофонах.

Терминология:

1. При использовании для подавления помех, сглаживания пульсаций электрического тока, изоляции по высокой частоте разных частей схемы и накопления энергии в магнитном поле сердечника часто называют дросселем.
2. В силовой электротехнике (для ограничения тока при, например, коротком замыкании ЛЭП) называют реактором.

3. Цилиндрическую катушку индуктивности, длина которой намного превышает диаметр, называют соленоидом. Кроме того, зачастую соленоидом называют устройство, выполняющее механическую работу за счёт магнитного поля при втягивании ферромагнитного сердечника, или электромагнитом.
4. В электромагнитных реле называют обмоткой реле, реже — электромагнитом.
5. В установках индукционного нагрева нагревательный индуктор.



Рисунок 3.22 – Катушки индуктивности

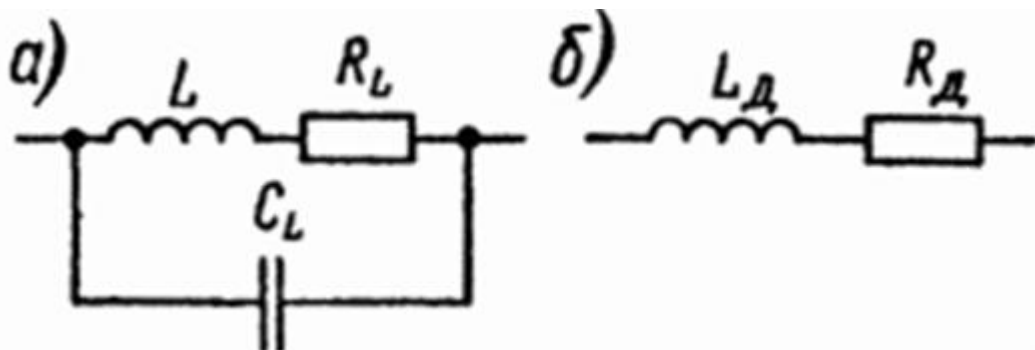


Рисунок 3.23 - Эквивалентные схемы катушек индуктивности

Каждая катушка, помимо индуктивности L , характеризуется также собственной (межвитковой) ёмкостью C_L и активным сопротивлением потерь

R_L распределёнными по её длине. Условно считают, что L , C_L и R_L сосредоточены и образуют замкнутую колебательную цепь (рис. 3.23, а) с собственной резонансной частотой

$$f_L = 1/(LC_L)^{0,5}$$

Вследствие влияния ёмкости C_L при измерении на высокой частоте f определяется не истинная индуктивность L , а действующее, или динамическое, значение индуктивности

$$L_d = L/(1-(2*\pi*f)^2*LC_L) = L/(1-f^2/f_L^2) \quad (113)$$

которое может заметно отличаться от индуктивности L , измеренной на низких частотах.

С повышением частоты возрастают потери в катушках индуктивности, обусловленные поверхностным эффектом, излучением энергии, токами смещения в изоляции обмотки и каркасе, вихревыми токами в сердечнике. Поэтому действующее активное сопротивление R_d катушки может заметно превышать её сопротивление R_L , измеренное омметром или мостом постоянного тока. От частоты f зависит и добротность катушки:

$$Q_L = 2*\pi*f*L_d/R_d.$$

На рис. 3.23, б, представлена эквивалентная схема катушки индуктивности с учётом её действующих параметров. Так как значения всех параметров зависят от частоты, то испытание катушек, особенно высокочастотных, желательно проводить при частоте колебаний источника питания, соответствующей их рабочему режиму. При определении результатов испытания индекс «д» обычно опускают.

Методы измерения индуктивности катушек

- 1 Метод вольтметра-амперметра
- 2 Метод сравнения (замещения)
- 3 Мостовой метод
- 4 Резонансный метод

Метод вольтметра – амперметра

Метод вольтметра - амперметра применяется для измерения сравнительно больших индуктивностей при питании измерительной схемы от источника низкой частоты $F = 50...1000$ Гц.

Схема измерений представлена на рис. 3.24, а. Полное сопротивление Z катушки индуктивности рассчитывается по формуле

$$Z = (R^2 + X^2)^{0,5} = U/I \quad (114)$$

на основе показаний приборов переменного тока V_{\sim} и mA_{\sim} . Верхний (по схеме) вывод вольтметра присоединяют к точке a при $Z \ll Z_b$ и к точке b при $Z \gg Z_a$, где Z_b и Z_a - полные входные сопротивления соответственно вольтметра V_{\sim} и миллиамперметра mA_{\sim} . Если потери малы, т. е. $R \ll X = 2\pi F L_x$, то измеряемая индуктивность определяется формулой

$$L_x \approx U/(2\pi F I). \quad (115)$$

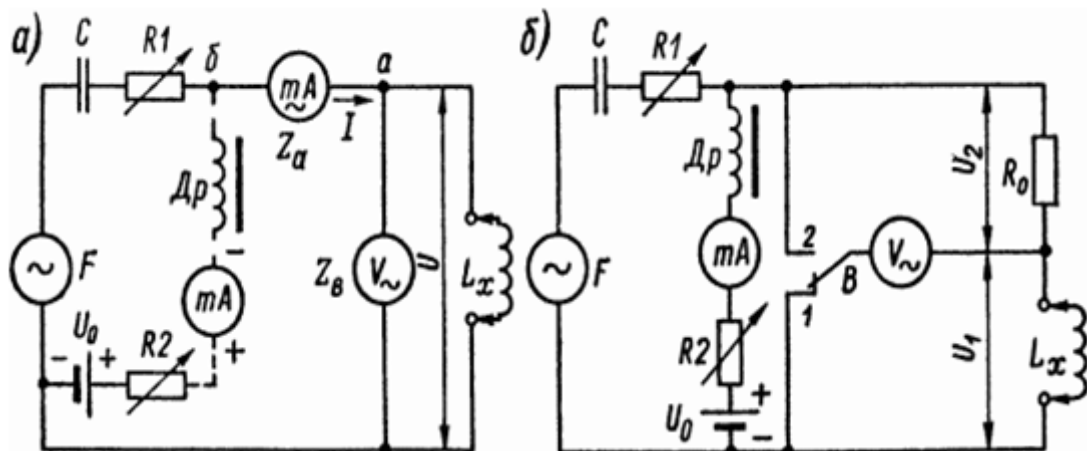


Рисунок 3.24 - Схемы для измерения индуктивности методом вольтметра-амперметра

Мостовой метод

Мосты, предназначенные для измерения параметров катушек индуктивности, формируются из двух плеч активного сопротивления, плеча с объектом измерений, сопротивление которого в общем случае является комплексным, и плеча с реактивным элементом - конденсатором или катушкой индуктивности.

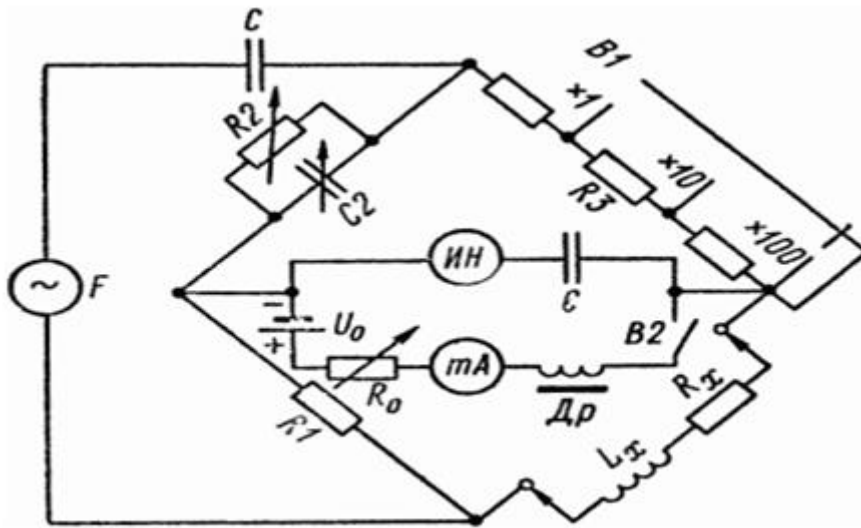


Рисунок 3.25 - Схема моста для измерения индуктивности и сопротивлений потерь

В измерительных мостах магазинного типа в качестве реактивных элементов предпочитают использовать конденсаторы,

поскольку в последних потери энергии могут быть сделаны пренебрежимо малыми, а это способствует более точному определению параметров исследуемых катушек. Схема такого моста представлена на рис. 3.25. Регулируемым элементом здесь является конденсатор C_2 переменной ёмкости (или магазин ёмкостей), зашунтированный переменным резистором R_2 ; последний служит для уравнивания фазового сдвига, создаваемого сопротивлением потерь R_x в катушке с индуктивностью L_x . Применяя условие равновесия амплитуд ($Z_4 Z_2 = Z_1 Z_3$), находим:

$$(R_x^2 + (2\pi F L_x)^2)^{0,5} : ((1/R_2)^2 + (2\pi F C_2)^2)^{0,5} = R_1 R_3. \quad (116)$$

Так как фазовые углы $\varphi_1 = \varphi_3 = 0$, то условие равновесия фаз ($\varphi_4 + \varphi_2 = \varphi_1 + \varphi_3$) можно записать в виде равенства $\varphi_4 + \varphi_2 = 0$, или $\varphi_4 = -\varphi_2$, или $\operatorname{tg} \varphi_4 = -\operatorname{tg} \varphi_2$. Учитывая, что для плеча с L_x справедлива формула ($\operatorname{tg} \varphi = X/R$), а для плеча с ёмкостью C_2 - формула ($\operatorname{tg} \varphi = R/X$) при отрицательном значении угла φ_2 , имеем

$$2\pi F L_x / R_x = 2\pi F C_2 R_2$$

Решая совместно приведённые выше уравнения, получим:

$$L_x = C_2 R_1 R_3; \quad (117)$$

$$R_x = R_1 R_3 / R_2. \quad (118)$$

Из последних формул следует, что конденсатор C_2 и резистор R_2 могут иметь шкалы для непосредственной оценки значений L_x и R_x , причём регулировки амплитуд и фаз, производимые ими, взаимно независимы, что позволяет быстро уравнивать мост.

Для расширения диапазона измеряемых величин один из резисторов R1 или R3 обычно выполняется в виде магазина сопротивлений.

Резонансный метод

Резонансные методы позволяют измерять параметры высокочастотных катушек индуктивности в диапазоне их рабочих частот. Схемы и способы измерений аналогичны применяемым при резонансных измерениях ёмкостей конденсаторов с учётом, конечно, специфики объектов измерений.

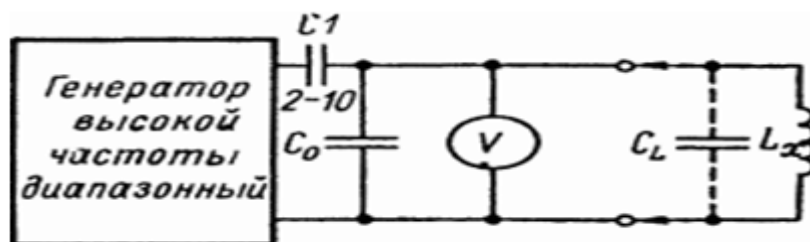


Рисунок 3.26 - Резонансная схема измерения индуктивности

Исследуемая катушка индуктивности может включаться в высокочастотный генератор как элемент его колебательного контура; В этом случае индуктивность L_x определяется на основе показаний частотомера, измеряющего частоту колебаний генератора.

Метод сравнения (замещения)

В этом случае непосредственно реализовать метод замещения не удастся в связи с трудностью изготовления рабочих катушек с переменной индуктивностью. Однако могут быть рекомендованы схемы, существенно уменьшающие погрешность измерения. В этих схемах измеряемая индуктивность замещается ёмкостью рабочего конденсатора.

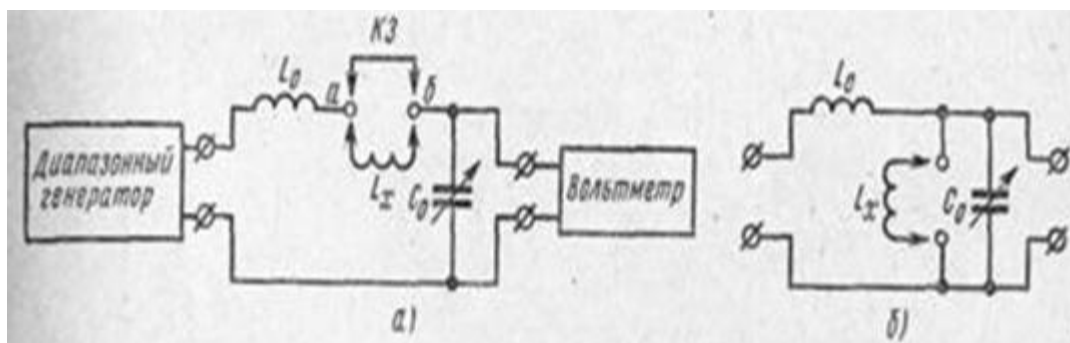


Рисунок 3.27 - Схемы для измерения индуктивностей методом замещения

а) схема для измерения малых индуктивностей;

б) схема для измерения больших индуктивностей.

Схема рисунок 3.27, а применяется для измерения малых индуктивностей. Первое измерение производят с короткозамыкающей перемычкой между зажимами а и б. Установив частоту генератора, равную рабочей частоте исследуемой катушки, включают известную индуктивность L_0 , соответствующую выбранному диапазону частот, и настраивают схему в резонанс изменением емкости рабочего конденсатора C_0 . Момент резонанса в схеме определяют по максимальному показанию вольтметра

При резонансе частота генератора равна резонансной частоте контура

$$f = f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_0 C_{01}}}.$$

(119)

При втором измерении между зажимами а и б включают неизвестную индуктивность L_x . Регулируя емкость рабочего конденсатора (при неизменной частоте генератора), снова добиваются резонанса в схеме. При этом

$$f = f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{(L_0 + L_x) C_{02}}}.$$

(120)

Из выражений получим расчетную формулу

$$L_x = L_0 (C_{01}/C_{02} - 1)$$

(121)

Если индуктивность катушки L_n неизвестна, расчет индуктивности производят по формуле:

$$L_x = \frac{1}{(2\pi f)^2} \left(\frac{1}{C_{02}} - \frac{1}{C_{01}} \right)$$

(122)

Тема 3.3 Измерение параметров полупроводниковых приборов и интегральных микросхем

Измерение параметров полупроводниковых диодов

Основные параметры диодов и стабилитронов малой мощности следующие: постоянное прямое напряжение диода $U_{пр}$ при заданном постоянном прямом токе $I_{пр}$; постоянный обратный ток $I_{обр}$ при заданном обратном напряжении $U_{обр}$; емкость диода и дифференциальное сопротивление.

Схемы соединения приборов для измерения прямой и обратной ветвей ВАХ диодов показаны на рисунке 1.1.

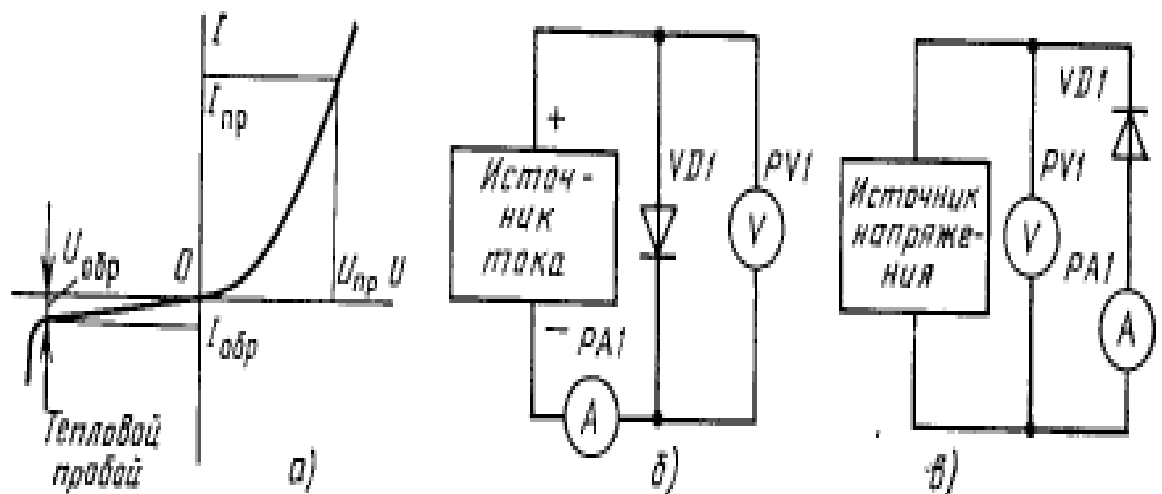


Рисунок 3.28 - Схемы соединения приборов для измерения прямой и обратной ветвей ВАХ диодов

При оценке параметров прямой ветви от источника постоянного тока с внутренним сопротивлением задается определенная величина тока не зависящая от падения напряжения на испытуемом диоде. Дифференциальное сопротивление диода в различных точках ВАХ не одинаково:

$$r_{диф.} = \Delta U : \Delta I \quad (123)$$

При измерении параметров обратной ветви диодов необходимо чтобы источник напряжения имел малое внутреннее сопротивление, так как величина обратного тока невелика. В области пробоя сопротивление резко уменьшается и необходимо регулировать ток. Эту область необходимо исследовать осторожно во избежании повреждения диода.

Измерение параметров транзисторов

В зависимости от области использования, условий эксплуатации, схем включения транзисторы характеризуются большим числом параметров, которые указаны в ТУ и справочниках.

1. Параметры постоянного тока – определяют значение направляемых токов и зависят от температуры и приложенного напряжения:

а) обратный ток коллектора ($I_{КБО}$) – это ток через переход коллектор – база при отключённом эмиттере и заземлённом напряжении на коллекторе

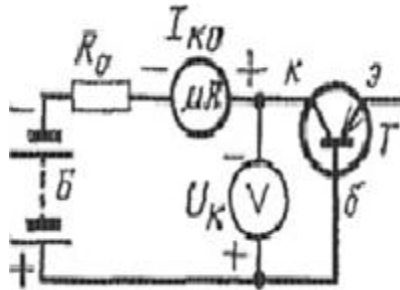


Рисунок 3.29- Схема измерения $I_{КБО}$

б) обратный ток эмиттера $I_{ЭБО}$ – это ток через переход эмиттер-база при отключенном коллекторе и заземленном напряжении на эмиттере

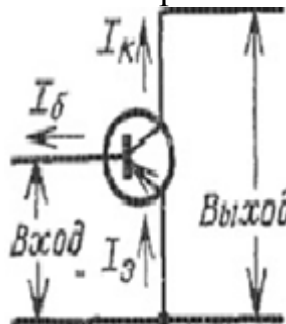


Рисунок 3.30 Схема измерения $I_{ЭБО}$

в) обратный ток коллектор-эмиттер $I_{кэ}$ или начальный ток коллектора $I_{кн}$ - это ток в цепи коллектора при короткозамкнутых выводах эмиттера и базы, т.е. при нулевом напряжении между базой и эмиттером и заданном обратном напряжении коллектор-эмиттер.

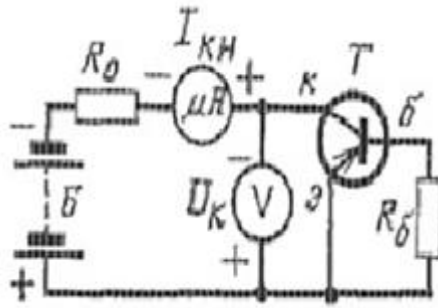


Рисунок 3.31- схема измерения I_{KH}

2. Параметры малого сигнала- характеризуют работу транзисторов в усилительных схемах.

h_{21} – коэффициент усиления (передачи) по току

$$h_{21} = I_{K2} - I_{K1} / I_{B2} - I_{B1} \quad (124)$$

3. Параметры большого сигнала

они характеризуют работу транзистора на нелинейных режимах ; при которых токи и напряжения между его выводами изменяются в широких пределах.

4. Параметры предельных режимов работы- это максимально и минимально допустимые ток , напряжение и мощность

5. Тепловые параметры – характеризуют возможность работы транзистора в различном диапазоне температур.

Измерение параметров ИМС

Различают три метода испытаний:

- 1 Статические
- 2 Динамические
- 3 Стендовые

Статические испытания

Выполняются на постоянном токе, при этом измеряют статические параметры, которые характеризуют значения токов и напряжений на входах и выходах схемы, устойчивость ее к влиянию статических помех в установившемся режиме

Динамические испытания

Выполняются в импульсном режиме, измеряют динамические параметры, которые характеризуют быстродействие ИМС, ее устойчивость к воздействию

импульсных помех. Эти параметры определяют по осциллограммам выходного напряжения при подаче на вход ИМС «идеального» прямоугольного импульса.

Стендовые испытания

Предусматривают такие испытания при которых максимально имитируются рабочие режимы. С помощью этих методов определяют работоспособность ИМС в нормальных условиях.

Раздел 4 Автоматизация измерений

Общие сведения. Классификация средств измерений по уровню автоматизации

Классификация средств измерений по уровню автоматизации

- 1 Неавтоматические
- 2 Автоматизированные
- 3 Автоматические

Неавтоматические средства измерения

Позволяющие оператору выполнять все операции, связанные с измерением, обработкой результатов и выработкой управляющих сигналов.

Автоматизированные

Способные провести в автоматическом режиме одну или часть измерительной операции.

Автоматические

Проводящие в автоматическом режиме измерения все операции, связанные с обработкой результатов, регистрацией, передачей, хранением данных и выработкой управляющих сигналов

Основные направления и принципы автоматизации электрорадиоизмерений

Возрастание количества измерений, нарастание сложности аппаратуры, повышение требований к точности, расширение использования математических методов обработки результатов измерений и обнаружения ошибок приводит к значительному росту трудоемкости и стоимости измерений и требует создание специализированных автоматизированных средств измерений.

Основные направления автоматизации измерений:

- 1) разработка средств измерений, в которых все необходимые регулировки выполняются автоматически, либо вообще не требуются;
- 2) замена косвенных измерений прямыми, и создание многофункциональных комбинированных приборов;
- 3) разработка панорамных измерительных приборов;
- 4) применение микропроцессоров (МП) и разработка на их основе приборов со встроенным интеллектом;
- 5) разработка измерительно-вычислительных комплексов (ИВК), имеющих в своем составе процессоры с необходимым периферийным оборудованием и программным обеспечением;

6) создание на базе ИВК универсального ядра информационных измерительных систем (ИИС).

Применение микропроцессоров в измерительных приборах

В измерительных приборах МП выполняет следующие функции:

- 1) управление процессом измерений, отдельными узлами и прибором в целом;
- 2) обработка измерительной информации, преобразование результатов измерений и представление их на экране дисплея в различных форматах;
- 3) расширяет функциональные возможности прибора (например современные цифровые осциллографы помимо временных и амплитудных измерений позволяют измерять частотные параметры, проводить анализ спектров сигналов, статических характеристик и так далее);
- 4) диагностика неисправностей и самокалибровка.

Примеры использования МП в измерительных приборах показаны на рисунках 1 и 2.

Интерфейс, 2-х (4-х) каналный АЦП, МПС, Пульт управления, Дисплей, Вх.1, Вх.2, Вх.3, Вх.4

На рисунке 1 приведена обобщенная структурная схема цифрового осциллографа.

- 5) автоматическая коррекция систематических погрешностей с использованием математических моделей;

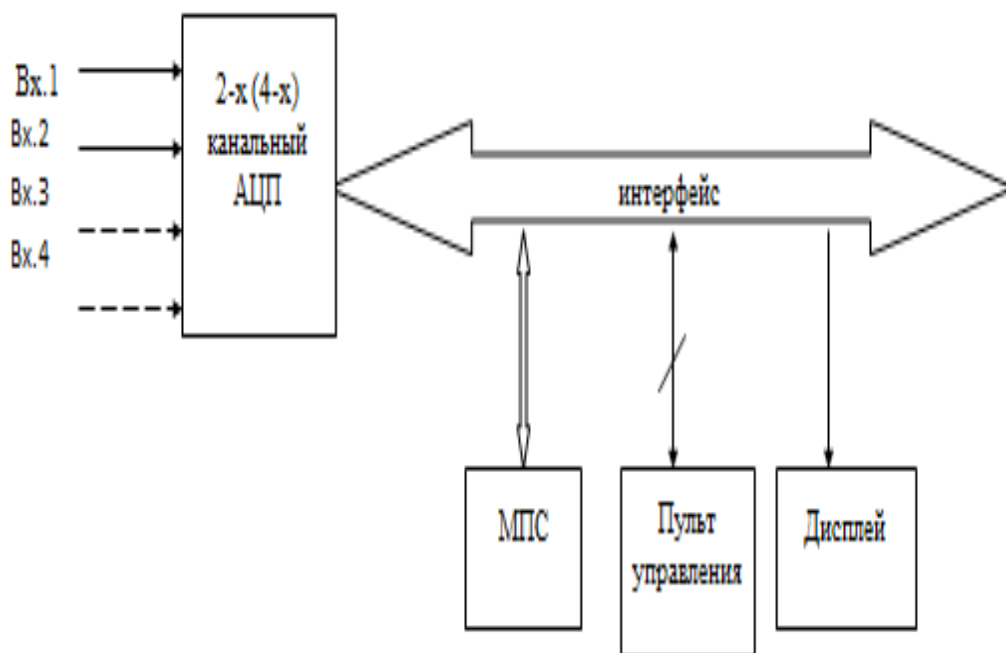


Рисунок 4.1 - Обобщенная структурная схема цифрового осциллографа

МПС – микропроцессорная схема.

Обобщенная структурная схема скалярного анализатора с МП приведена на рисунке 4.2.

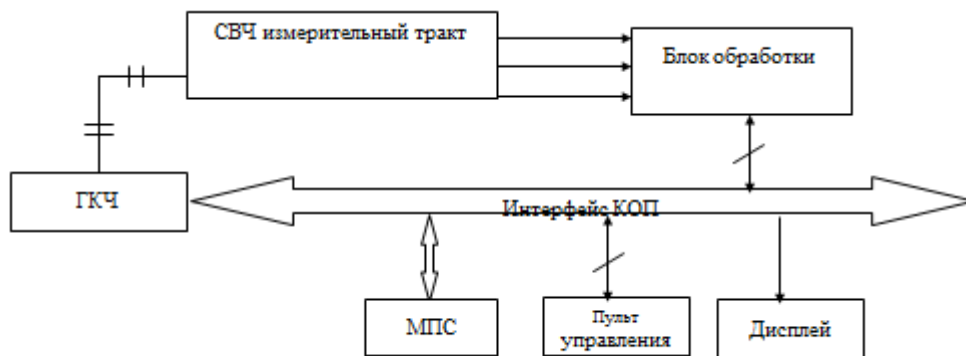


Рисунок 4.2 - Скалярный анализатор с МП

где ГКЧ генератор качающейся частоты; КОП – канал общего пользования.

Измерительно - вычислительные комплексы

Измерительно-вычислительный комплекс (ИВК) – автоматизированное средство измерений, имеющее в своем составе микропроцессоры (МП) с необходимым периферийным оборудованием, измерительные и вспомогательные устройства, управляемые от МП, и программное обеспечение комплекса.

Номенклатура входящих в ИВК компонентов и определяет конкретную область его применения. Но независимо от области применения ИВК должны выполнять следующие функции:

- измерение электрических величин;
- управление процессом измерений;
- управление воздействиями на объект измерения;
- представление оператору результатов измерения в заданной форме.

Для выполнения этих функций ИВК должен обеспечивать восприятие, преобразование и обработку сигналов от первичных измерительных преобразователей (датчиков или приборов), управление ими и другими компонентами, входящими в состав ИВК, а также выработку нормализованных сигналов воздействия на объект измерения, оценку точности измерений и представление результатов измерений в стандартной форме.

ИВК по назначению классифицируются на:

- 1) типовые – для решения широкого круга типовых задач автоматизации измерений, испытаний и так далее;

- 2) специализированные – для решения уникальных задач автоматизации измерений;
- 3) проблемные – для решения широко распространенной, но специфической задачи автоматизации измерений.

В состав ИВК входят технические и программные компоненты. Программные компоненты включают в себя системное и общее прикладное программное обеспечение.

В зависимости от конкретных требований проектируются одноуровневые и многоуровневые ИВК. В одноуровневых ИВК вся измерительная периферия соединена непосредственно с интерфейсом центрального процессора. В многоуровневых ИВК вычислительная мощность распределена между различными уровнями.

Обобщенная структурная схема одноуровневого ИВК представлена на рисунке 4.3.

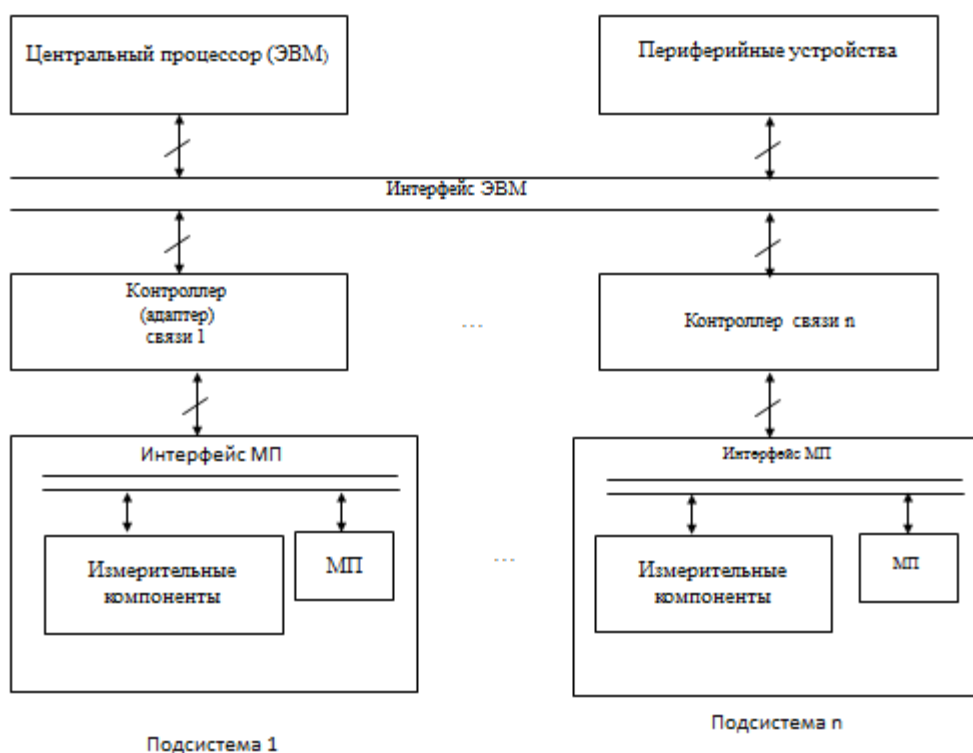


Рисунок 4.3 - Обобщенная структурная схема одноуровневого ИВК

Информационно- измерительная система

Информационно-измерительная система (ИИС) – совокупность функционально объединенных измерительных, вычислительных и других технических средств, предназначенная для получения измерительной информации, ее преобразования и обработки с целью представления в удобном потребителю виде, либо автоматического осуществления логических функций контроля, диагностики и идентификации.

В зависимости от назначения и выполняемых функций ИИС делятся:

- 1) измерительные системы;
- 2) системы автоматического контроля;
- 3) технической диагностики.
- 4) распознавание образцов (идентификации).

Для ИИС характерна не только автоматизация таких процедур как регистрация, сбор и передача результатов измерений, но и проведение измерительного эксперимента при активном воздействии на объект исследования в соответствии с принятым планом. Оператор имеет возможность вмешиваться в ход эксперимента и корректировать его в режиме диалога.

Обобщенная структурная схема ИИС приведена на рисунке 4.4.

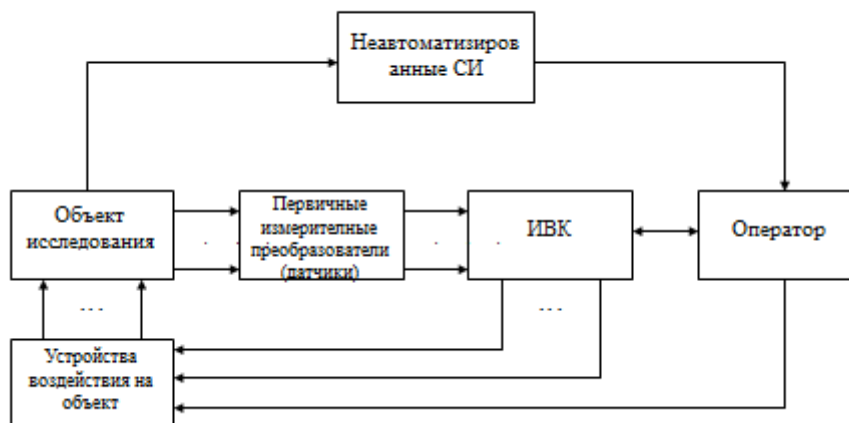


Рисунок 4.4 - Обобщенная структурная схема ИИС

Типовые устройства ИИС определяются структурой используемого ИБК. Дополнительными являются следующие устройства:

- датчики, непосредственно воспринимающие от объекта исследования измеряемые величины и преобразующие их в изменение какого-либо параметра электрического сигнала или цепи;

- нормализующие преобразователи, необходимые для преобразования неунифицированных сигналов датчиков в унифицированные аналоговые или цифровые сигналы;
- АЦП;
- коммутаторы, осуществляющие поочередное подключение входных сигналов на общий выход.

Агрегатирование средств измерения

Агрегатирование это метод стандартизации, который позволяет создавать новые изделия путем компоновки их из ограниченного числа унифицированных функциональных частей (деталей, блоков, узлов или приборов).

Важное значение для внедрения агрегатирования имеет совместимость, которая подразделяется на информационную, энергетическую, конструктивную, метрологическую, эксплуатационную, надежность.

Общие сведения об интерфейсах агрегатных комплексов средств измерений

Интерфейс регламентирует правила обмена всеми видами информации между устройством, образующие какую-либо систему. Он включает в себя аппаратные средства и протокол.

Протокол – совокупность правил, устанавливающих единые принципы взаимодействия подсистем.

Основные классификационные признаки интерфейсов:

- способ соединения средств измерений и автоматизации (СИА);
- способ передачи информации;
- принцип обмена информации;
- режим передачи информации.

По способу соединения СИА интерфейсы подразделяются на:

- магистральные, радиальные, цепочечные, смешанные.

Схема интерфейса с магистральной структурой изображена на рисунке 5

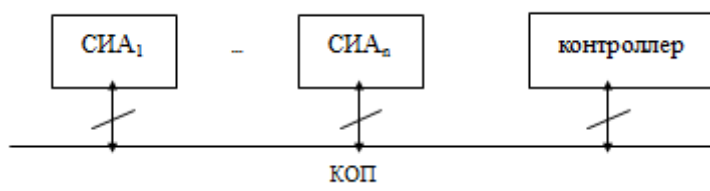


Рисунок 4.5 - Схема интерфейса с магистральной структурой

Для этой структуры характерно то, что сигналы, возникающие во всех шинах интерфейса, доступны сразу всем СИА, но в каждый момент времени только один абонент (СИА) может обмениваться информацией по интерфейсу.

На рисунке 4.6, а изображена схема интерфейса с радиальной структурой; на рисунке 4.6, б – с цепочной, а на рисунке 4.6, в – со смешанной.

По способу передачи информации интерфейсы подразделяются на: параллельные, последовательные, параллельно-последовательные.

В ИИС и ИВК используются параллельно-последовательные интерфейсы, в которых сочетается быстродействие параллельных и меньшая аппаратная сложность последовательных.

По принципу обмена информацией интерфейсы подразделяются на: синхронные и асинхронные.

Наиболее часто используются асинхронные интерфейсы, которые позволяют сопрягать устройства с различным быстродействием.

В зависимости от режима обмена информацией различают интерфейсы: а) с двусторонней одновременной передачей, б) с двусторонней поочередной передачей, в) с односторонней передачей.

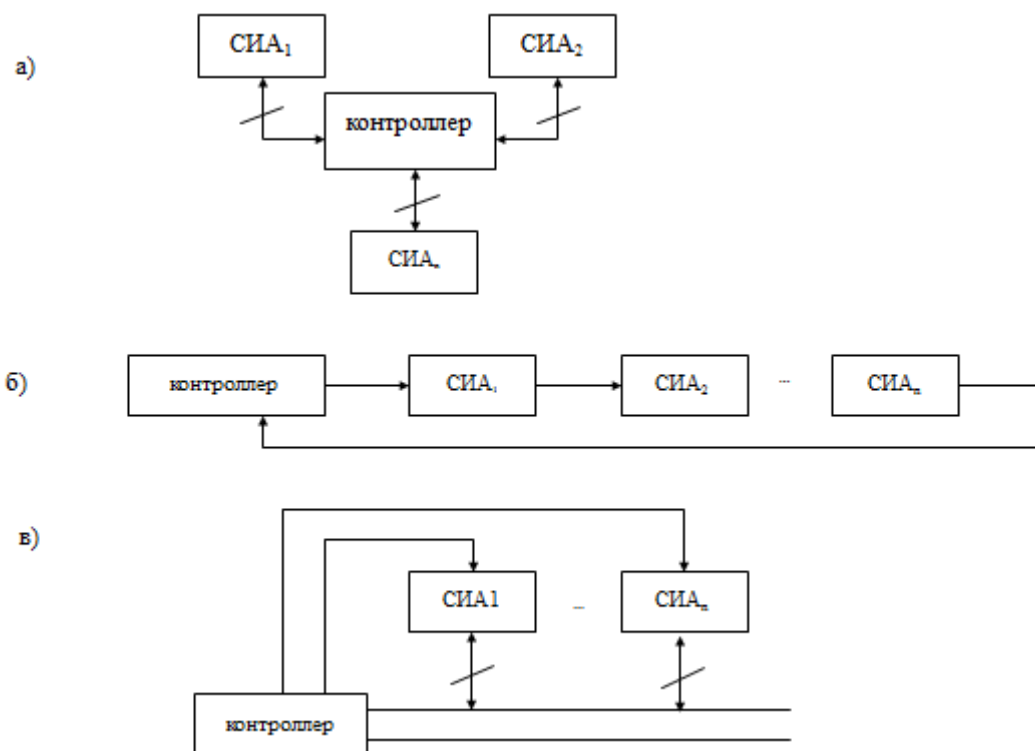


Рисунок 4.6 - Интерфейсы

Министерство образования Республики Беларусь
Филиал БНТУ «Минский государственный политехнический колледж»

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Методические указания для проведения лабораторных работ для
специальностей

2-36 01 31 «Монтаж и эксплуатация электрооборудования»
(производственная деятельность)

2-37 01 05 «Городской электрический транспорт»

2-53 01 05 «Автоматизированные электроприводы»

2-36 04 32 «Электроника механических транспортных средств»

Разработчик

В.И. Боровская

Содержание

Наименование лабораторной работы	Электрические измерения 2-36 03 31; 2-37 01 05; 2-53 01 05; 2-36 04 32	Номер страницы
Изучение устройства измерительных механизмов различных систем	2	
Изучение техники измерения силы тока различными приборами	2	
Изучение техники измерения напряжения различными приборами	2	
Изучение органов управления универсального осциллографа и подготовка его к	2	
Изучение техники измерения параметров непрерывных сигналов с помощью осциллографа	2	
Изучение техники измерения импульсных сигналов с помощью осциллографа	2	
Измерение частоты сигнала	2	

частотомером		
Измерение фазового сдвига электронным осциллографом	2	
Изучение техники измерения мощности ваттметром	2	
Измерение сопротивления изоляции проводов, кабелей и электрических машин	2	
Измерение сопротивления различными приборами	2	
Измерение параметров катушки индуктивности	2	
Измерение параметров полупроводниковых приборов	2	
Всего	26	

Лабораторная работа

Изучение устройства измерительных механизмов различных систем

1 Цель работы: изучить конструкцию электромеханических приборов и приобрести навыки по расшифровке условных обозначений, наносимых на шкалы приборов.

































2 Оснащение работы:

- электроизмерительные приборы различных систем.

3 Порядок выполнения работы

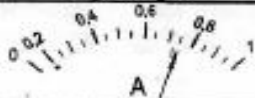
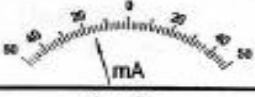
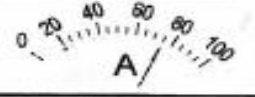
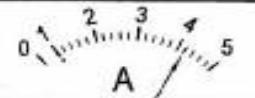
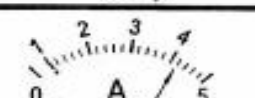
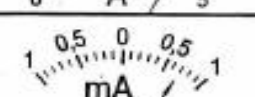
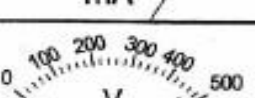
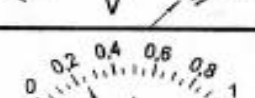
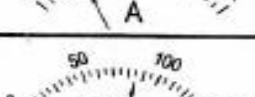
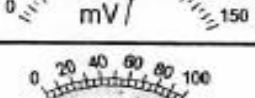
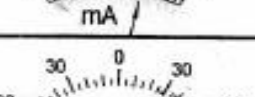
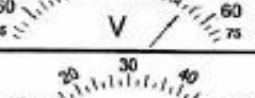
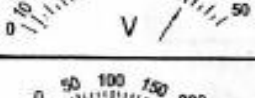
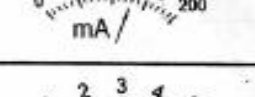
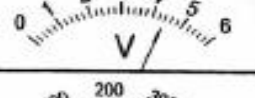
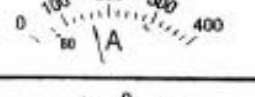
3.1 В соответствии с таблицей 1 и вариантом, указанным преподавателем, выполнить расшифровку условных обозначений, наносимых на шкалы приборов.

Таблица 1

Номер варианта	Условное обозначение	Расшифровка
1	V M362 –   \perp 1,5	
2	A Э378 ~   \perp 0,5	
3	kW Д341/2 ~   \perp 0,1	
4	V Э377 ~   \perp 0,2	
5	A Э378 50 Hz ~   \perp 4,0	
6	mV Э378 ~   \perp 0,02	
7	mA M362 –   \perp 2,5	
8	A Э377 ~   \perp 1,0	
9	V M362 –   \perp 0,05	
10	mA M367 –   \perp 0,5	
11	V Э368 ~   \perp 0,1	
12	A Э330 50 Hz –   \perp 1,5	
13	V M362 –   \perp 0,2	
14	A M362 ~   \perp 4,0	
15	mV M367 –   \perp 1,5	
16	mA M330 ~   \perp 0,05	

3.2 В соответствии с таблицей 2 я вариантом, указанным преподавателем, определить характеристики электрических приборов.

Таблица 2

Номер варианта	Лицевая панель электромеханического прибора	Диапазон измерений	Количество делений шкалы	Цена деления шкалы	Показание прибора
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					

3.3 Получить у преподавателя электромеханический измерительный прибор.

3.4 Зарисовать лицевую панель и схему измерительного механизма электромеханического прибора.

3.5 Расшифровать условные обозначения, нанесённые на лицевую панель прибора . Данные занести в таблицу 3.

Таблица 3

Условное обозначение	Расшифровка

3.6 Определить характеристики электромеханического прибора.
Данные занести в таблицу 4.

Таблица 4

Шкала прибора	Диапазон измерений	Предел измерений	Количество делений шкалы	Цена делений шкалы	Диапазон показаний

3.7 Оформить отчёт.

3.8 Сделать выводы по работе.

3.9 Ответить на контрольные вопросы.

4 Содержание отчёта

4.1 Название и цель работы.

4.2 Таблица 1.

4.3 Таблица 2.

4.4 Рисунок 1 - Лицевая панель и схема измерительного механизма.

4.5 Таблица 3.

4.6 Таблица 4.

4.7 Выводы по работе.

5 Контрольные вопросы

5.1 Назовите элементы которые содержат электромеханические измерительные приборы.

5.2 Поясните, почему приборы магнитоэлектрической системы обладают высокой чувствительностью и точностью.

5.3 Назовите свойства прибора электродинамической системы.

5.4 Расскажите принцип действия приборов электромагнитной измерительной системы и область применения этих приборов.

5.5 Назовите свойства и область применения электростатических приборов.

Литература

Электрорадиоизмерения / Под редакцией профессора А.С. Сигова. - М.: ФОРУМ: ИНФРАМ, 2004.

Метрология и радиоизмерения / Под редакцией В.И. Нефедова. -М.: Высшая школа, 2003.

Метрология и электрорадиоизмерения в телекоммуникационных системах / Под редакцией В.И. Нефедорова. -М.:Высшая школа, 2001.

Классен К.Б. Основы измерений. Электронные методы и приборы в измерительной технике. -М.: Постмаркер, 2000.

Лабораторная работа

Изучение техники измерения силы тока различными приборами

1 Цель работы: приобрести навыки работы с измерительными приборами для измерения токов; приобрести навыки безопасной работы с измерительными приборами.

2 Оснащение рабочего места:

- источник питания;
- электромеханический измерительный прибор;
- комбинированный прибор;
- цифровой прибор.

3 Порядок выполнения работы

3.1 Изучить условные обозначения, нанесенные на лицевой панели приборов и заполнить таблицу 1

Таблица 1

Наименование и тип прибора	Диапазон измерения тока	Погрешность измерения тока

3.2 Рассчитать действительное значение тока I в исследуемой цепи, считая что $E=15\text{В}$, R_n - сопротивление резистора. '

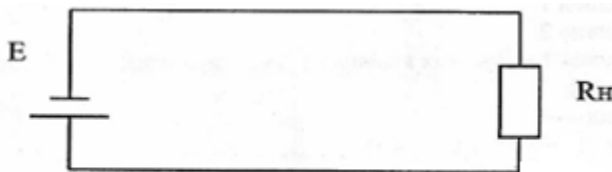


Рисунок 1

3.3 В соответствии с рисунком 2, собрать схему для измерения постоянного тока.

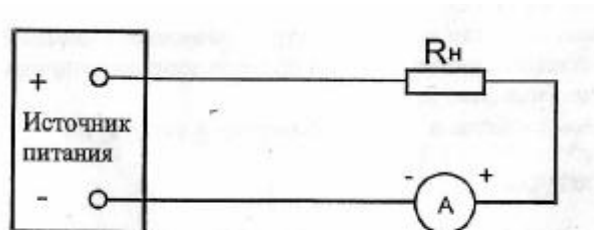


Рисунок 2

3.4 Установить ручки «ГРУБО» и «ТОЧНО» источника питания в крайнее левое положение.

3.5 Подключить источник питания к сети.

3.6 Установить на измерительном приборе максимальный предел измерения по току.

3.7 Ручками «ГРУБО» и «ТОЧНО» источника питания установить $U=15V$.

3.8 Переключить предел измерения на измерительном приборе удобный для определения значения тока.

3.9 Определить цену деления шкалы (только у электромеханического и комбинированного прибора).

3.10 Рассчитать абсолютную и относительную погрешности измерения.

3.11 Результаты измерений и расчетов занести в таблицу 2.

Таблица 2

Наименование и тип прибора	Ожидаемое значение тока	Предел измерения	Цена деления шкалы	Результат измерения	Погрешность	
					абсолютная	относительная

3.12 Повторить п.3.4 - 3.11 для всех приборов.

3.13 Оформить отчет.

3.14 Сделать выводы по работе.

3.15 Ответить на контрольные вопросы.

4 Содержание отчета

4.1 Название и цель работы.

4.2 Таблица 1.

4.3 Рисунки 1 и 2.

4.4 Таблица 2.

4.5 Примеры расчетов.

4.6 Выводы по работе.

5 Контрольные вопросы

5.1 Перечислите методы измерения постоянного тока (малых, средних и больших) значений.

5.2 Назовите, приборами каких систем можно измерить постоянный ток.

5.3 Зарисуйте и обоснуйте схему включения амперметра.

5.4 Объясните, от чего зависит методическая погрешность измерений.

5.5 Назовите способ измерения инструментальной погрешности.

Литература

Электрорадиоизмерения / Под редакцией профессора А.С.Сигова. - М: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2004.

Метрология и радиоизмерения / Под редакцией В.И. Нефедова. -М.: Высшая школа, 2003.

Метрология и электрорадиоизмерения в телекоммуникационных системах / Под редакцией В.И. Нефедорова. —М. Высшая школа, 2001.

Классен К.Б. Основы измерений. Электронные методы и приборы в измерительной технике. -М.: Постмаркер, 2000.

Лабораторная работа

Изучение техники измерения напряжения различными приборами

1 Цель работы: приобрести навыки техники измерения напряжения различными приборами; приобрести навыки безопасной работы с измерительными приборами.

2 Оснащение рабочего места

-источник питания;
-электромеханический измерительный прибор; -комбинированный прибор; -цифровой прибор.

3 Порядок выполнения работы

3.1 Пользуясь инструкцией по эксплуатации измерительных приборов заполнить таблицу 1

Таблица 1

Наименование и тип прибора	Техническая характеристика прибора
Измерительный прибор	Диапазон измерения напряжения постоянного тока. Погрешность измерения напряжений.
Источник питания	Диапазон измерения напряжений. Погрешность установки напряжений.

3.2 Ручки "ГРУБО" и "ТОЧНО" источника питания установить в крайнее левое положение.

3.3 Поочерёдно устанавливать на источнике питания значения напряжений в соответствии с таблицей 2.

3.4 Поочерёдно подготовить измерительные приборы и выполнить измерения значений напряжений постоянного тока.

3.5 Результаты измерений занести в таблицу 2.

3.6 Определить абсолютную погрешность измерения.

3.7 Результаты расчетов занести в таблицу 2.

Таблица 2

Тип прибора	Значение напряжения	2,0	3,0	4,5	6,0	7,5	8,0	10,0	11,5	12,0	15,0
	Результат измерения										
	Абсолютная погрешность										

3.8 Оформить отчёт.

3.9 Сделать выводы по работе.

3.10 Ответить на контрольные вопросы.

4 Содержание отчёта

4.1 Название в цель работы.

4.2 Таблица 1.

4.3 Таблица 2.

4.4 Примеры расчётов.

4.5 Выводы по работе.

5 Контрольные вопросы

5.1 Назовите требования предъявляемые к входному сопротивлению вольтметра.

5.2 Назовите основные типы цифровых вольтметров .

5.3 Расскажите принцип действия компенсационного вольтметра постоянного тока.

Литература

Электрорадиоизмерения / Под редакцией профессора А.Э. Сигова. - М: ФОРУМ: ИНСРА -М, 2004.

Метрология и радиоизмерения / Под редакцией В.И. Нефедова.- М.: Высшая школа, 2003.

Метрология и электрорадиоизмерения в телекоммуникационных системах / Под редакцией В.И. Нефедова.- М.: Высшая школа, 2001.

К.Б. Классен. Основы измерения. Электронные приборы в измерительной технике. -М.: Постмаркер -М, 2000.

Лабораторная работа

Изучение органов управления универсального осциллографа и подготовка его к работе.

1 Цель работы: изучить назначение органов управления осциллографа универсального; приобрести умение подготовки его к работе; приобрести навыки безопасной работы с измерительными приборами.

2 Оснащение рабочего места: - осциллограф универсальный.

3 Порядок выполнения работы

3.1 Пользуясь инструкцией по эксплуатации осциллографа заполнить таблицу 1.

Таблица 1

Наименование и тип прибора	Техническая характеристика прибора
	Полоса пропускания тракта горизонтального отклонения. Значения коэффициентов отклонения тракта вертикального отклонения. Погрешность коэффициентов отклонения в рабочем диапазоне. Максимальный размах напряжения исследуемого сигнала.

3.2 Зарисовать структурную схему осциллографа.

3.3 Пользуясь инструкцией по эксплуатации изучить назначение органов управления генератора низкочастотных сигналов и заполнить таблицу 2.

Таблица 2

Обозначение органа управления	Назначение

3.4 Пользуясь инструкцией по эксплуатации подготовить универсальный осциллограф к проведению измерений.

3.5 Подозвать преподавателя и продемонстрировать знание органов управления осциллографа и порядок подготовки его к измерениям.

3.6 Оформить отчет.

3.7 Сделать выводы по работе.

3.8 Ответить на контрольные вопросы.

4 Содержание отчета

4.1 Название и цель работы.

4.2 Таблица 1.

4.3 Рисунок 1 - Структурная схема универсального осциллографа

4.4 Таблица 2.

4.5 Выводы по работе.

5 Контрольные вопросы

5.1 Укажите назначение универсального осциллографа.

5.2 Назовите типы осциллографов.

5.3 Назовите виды разверток осциллографа.

5.4 Объясните принцип действия стробоскопического осциллографа, Можно ли с помощью стробоскопического осциллографа исследовать однократные процессы.

Литература

Электрорадиоизмерения / Под редакцией профессора А.С. Сигова. - М.: ФОРУМ: ИНФРАМ 2004.

Метрология и радиоизмерения / Под редакцией В.И. Нефедова. -М.: Высшая школа, 2003.

Метрология и электрорадиоизмерения в телекоммуникационных системах / Под редакцией В.И. Нефедорова. -М.:Высшая школа, 2001.

Класен К.Б. Основы измерений. Электронные методы и приборы в измерительной технике. -М.: Постмаркер, 2000.

Лабораторная работа

Изучение техники измерения параметров непрерывных сигналов с помощью осциллографа

1 Цель работы: приобрести умения измерять параметры непрерывных сигналов с помощью осциллографа; приобрести навыки безопасной работы с измерительными приборами.

2 Оборудование:

- универсальный осциллограф;
- генератор низкочастотных сигналов;

3 Порядок выполнения работы

3.1 Пользуясь техническим описанием и инструкцией по эксплуатации изучить принцип действия и основные технические характеристики используемого оборудования.

3.2 Заполнить таблицу 1.

Таблица 1

Наименование прибора	Тип прибора	Основная техническая характеристика

3.3 Подготовить осциллограф к работе в режиме непрерывной развёртки.

ПРИБОР ПОДГОТОВИТЬ К РАБОТЕ В СООТВЕТСТВИИ С ПУНКТОМ «ПОДГОТОВКА ПРИБОРА К РАБОТЕ» ИНСТРУКЦИИ ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ.

3.4 Подготовить генератор к работе.

3.5 Собрать схему в соответствии с рисунком 1.

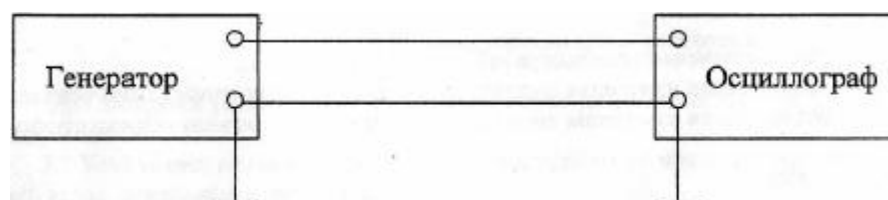


Рисунок 1

3.6 Включить генератор и установить его выходное напряжение и частоту в соответствии с таблицей 2.

3.7 Рассчитать амплитудное значение напряжения U_a по формуле (так как шкала вольтметра, встроенного в генератор, проградуирована в среднеквадратичных значениях).

Амплитудное значение U_a определяют по формуле

$$U_a = 1,41 \cdot U_{\text{ср.кв.}},$$

где $U_{\text{ср.кв.}}$ - значение напряжения, установленное на генераторе.

Таблица 2

Значения, установленные на генераторе			Значения, измеренные осциллографом		Рассчитанное значение				
f, Гц	$U_{\text{ср.кв.}}$, В	U_a , В	U_a , В	T, мс	f, Гц	ΔU , В	δU , %	Δf , Гц	δf , %
1000	2								
380	15								
850	5								

3.8 Результаты расчёта занести в таблицу 2.

3.9 Получить на экране неподвижную осциллограмму, содержащую несколько периодов исследуемого синусоидального сигнала.

3.10 Измерить амплитуду и период исследуемого синусоидального сигнала.

3.11 Результаты измерений занести в таблицу 2.

3.12 Рассчитать частоту синусоидального сигнала.

3.13 Рассчитать абсолютную и относительную погрешности измерений (действительным значением считать значение, устанавливаемое на генераторе).

3.14 Результаты расчётов занести в таблицу 2.

3.15 Оформить отчёт.

3.16 Сделать выводы по работе.

3.17 Ответить на контрольные вопросы.

4 Содержание отчёта

4.1 Название и цель работы.

4.2 Таблица 1

4.3 Схема лабораторной установки, рисунок 1.

4.4 Таблица 2 с результатами измерений и расчётов.

4.5 Выводы по работе.

5 Контрольные вопросы

5.1 Назовите назначение осциллографа.

5.2 Назовите методику измерения амплитуды синусоидальных напряжений осциллографом.

5.3 Назовите методику измерения периода синусоидального сигнала осциллографом.

Литература

Электрорадиоизмерения / Под редакцией профессора А.С. Сигова. - М.: ФОРУМ: ИНФРАМ 2004.

Метрология и радиоизмерения / Под редакцией В.И. Нефедова. -М.: Высшая школа, 2003.

Метрология и электрорадиоизмерения в телекоммуникационных системах / Под редакцией В.И. Нефедорова. -М.:Высшая школа, 2001.

Классен К.Б. Основы измерений. Электронные методы и приборы в измерительной технике. -М.: Постмаркер, 2000.

Лабораторная работа

Изучение техники измерения импульсных сигналов с помощью осциллографа

1 Цель работы: приобрести навыки измерения параметров импульсных сигналов с помощью осциллографа; приобрести навыки безопасной работы с измерительными приборами.

2 Оснащение рабочего места:

- генератор импульсов;
- осциллограф.

3 Порядок выполнения работы

3.1 Ознакомиться с используемыми измерительными приборами.

3.2 Заполнить таблицу 1.

Таблица 1

Наименование и тип прибора	Основная техническая характеристика

3.3 Пользуясь техническим описанием и инструкцией по эксплуатации генератора импульсов, подготовить его к работе.

3.4 Пользуясь техническим описанием и инструкцией по эксплуатации осциллографа, подготовить его к работе в режиме ждущей развёртки.

3.5 Собрать лабораторную установку в соответствии с рисунком 1.

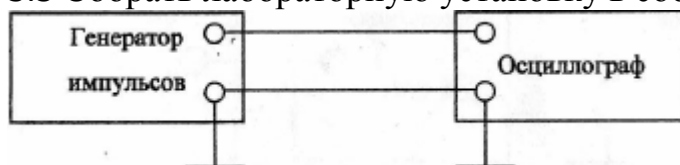


Рисунок 1- Схема лабораторной установки

3.6 Пользуясь техническим описанием генератора импульсов, изучить раздел «Проведение измерений».

3.7 Установить на генераторе амплитуду импульсов 5В и поочередно частоты следования импульсов, указанные в таблице 2.

Таблица 2

$f_{\text{сл.}}, \text{Гц}$	350	700	2000	3600
Трас., мкс				
Тизм., мкс				
$f_{\text{изм.}}, \text{Гц}$				
$\delta f, \%$				

3.8 Получить на экране осциллографа изображение выходного сигнала с генератора и измерить период следования импульсов.

3.9 Результаты измерений занести в таблицу 2.

3.10 Рассчитать частоту следования импульсов, относительную погрешность измерений (за действительное значение принимать устанавливаемую на генераторе частоте следования).

3.11 Оформить отчёт.

3.12 Сделать выводы по работе.

3.13 Ответить на контрольные вопросы.

4 Содержание отчета

4.1 Название и цель работы.

4.2 Таблица 1.

4.3 Рисунок 1.

4.4 Таблица 2.

4.5 Примеры расчётов.

4.6 Выводы по работе.

5 Контрольные вопросы

5.1 Перечислите параметры импульсных сигналов, которые можно измерить осциллографом.

5.2 Расскажите, как измерить частоту следования импульсов с помощью осциллографа.

5.3 Назовите методы измерения частоты импульсов.

Литература

Электрорадиоизмерения / Под редакцией профессора А.Э. Сигова. - М.: ФОРУМ: ИНСРА -М, 2004.

Метрология и радиоизмерения / Под редакцией В.И. Нифедова.- М.: Высшая школа, 2003.

Метрология и электрорадиоизмерения в телекоммуникационных системах / Под редакцией В.И. Нифедова.- М.: Высшая школа, 2001.

К.Б. Классен. Основы измерения. Электронные приборы в измерительной технике. -М.: Постмаркер -М, 2000.

Лабораторная работа

Измерение частоты сигнала частотомером

1 Цель работы: приобрести умение измерять частоту сигнала частотомером; приобрести навыки безопасной работы с измерительными приборами.

2 Оснащение рабочего места:

- частотомер;
- генератор.

3 Порядок выполнения работы

3.1 Пользуясь техническим описанием и инструкцией по эксплуатации изучить принцип действия и основные характеристики измерительных приборов.

3.2 Заполнить таблицу 1.

Таблица 1

Наименование и тип прибора	Основные технические характеристики
	Диапазон измерения частот. Погрешность установки и измерения частот.

3.3 Пользуясь инструкцией по эксплуатации частотомера, провести проверку его работоспособности.

3.4 Установить на генераторе амплитуду в пределах (1- \cdot T0) В.

3.5 Согласно инструкции по эксплуатации частотомера выполнить измерение частот, устанавливаемых поочередно на генераторе, в соответствии с таблицей 2.

Таблица 2

$f_{\text{ген}}, \text{кГц}$	0,023	0,075	1	12,3	73,4	95	150	180,4	200	207,9
$f_{\text{изм}}, \text{кГц}$										
$\Delta f, \text{кГц}$										
$\delta f, \%$										

3.6 Результаты измерений занести в таблицу 2.

3.7 Рассчитать абсолютную и относительную погрешности измерения частоты.

3.8 Результаты расчетов занести в таблицу 2.

3.9 Ответить на контрольные вопросы.

3.10 Оформить отчет.

3.11 Сделать выводы по работе.

4 Содержание отчета

4.1 Название и цель работы.

4.2 Таблица 1 и 2.

4.3 Примеры расчетов.

4.4 Выводы по работе.

5 Контрольные вопросы

5.1 Назовите методы измерения частоты.

5.2 Нарисуйте схемы для измерения частоты с помощью осциллографа.

Литература

Электрорадиоизмерения / Под редакцией профессора А.С.Сигова. - М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2004.

Метрология и радиоизмерения / Под редакцией В.И. Нефедова. -М.: Высшая школа, 2003.

Метрология и электрорадиоизмерения в телекоммуникационных системах / Под редакцией В.И. Нефедорова. -М.: Высшая школа, 2001.

Класен К.Б. Основы измерений. Электронные методы и приборы в измерительной технике. -М.: Постмаркер, 2000.

Лабораторная работа

Измерение сдвига фаз электронным осциллографом

1 Цель работы: приобрести навыки измерения фазового сдвига электронным осциллографом; приобрести навыки безопасной работы с измерительными приборами.

2 Оснащение рабочего места:

- генератор низкой частоты - 2 шт.;
- осциллограф.

3 Порядок выполнения работы

3.1 Ознакомиться с измерительными приборами.

3.2 Заполнить таблицу 1.

Таблица 1

Наименование и тип прибора	Основные технические характеристики

3.3 Измерение фазового сдвига.

3.1.1 Метод линейной развертки:

- на первый и второй входы осциллографа подать синусоидальные сигналы одинаковой амплитуды;
- частоту развертки подобрать такой, чтобы на экране высвечивались (1,5-2) периода данного сигнала;
- найти длину отрезка АВ и АС в соответствии с рисунком 1;

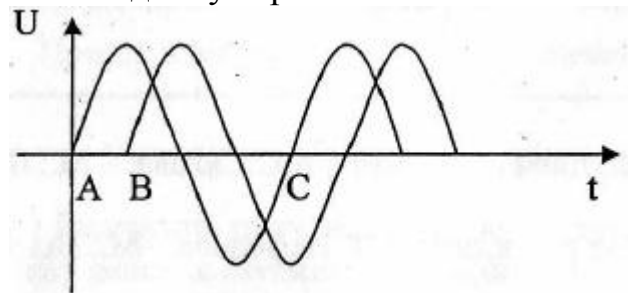


Рисунок 1

- вычислить фазовый сдвиг по формуле $\varphi = (AB:AC) \times 360^\circ$;
- результаты измерений занести в таблицу 2.

Таблица 2

AB	AC	φ	A	B	$\sin \varphi$	φ

3.3.2 Метод эллипса:

- на вход X и вход Y осциллографа подать синусоидальные сигналы одинаковой частоты;
- найти длину A и B в соответствии с рисунком 2;

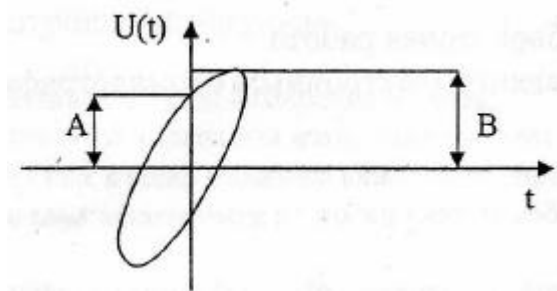


Рисунок 2

- вычислить значение $\sin\varphi$ по формуле $\sin\varphi=A/B$ и вычислить значение сдвига фаз φ_2° ;

- результаты измерений занести в таблицу 2.

3.4 Оформить отчет.

3.5 Сделать выводы по работе.

3.6 Ответить на контрольные вопросы.

4 Содержание отчета

4.1 Название и цель работы.

4.2 Таблица 1.

4.3 Рисунок 1.

4.4 Таблица 2.

4.5 Рисунок 2.

4.6 Выводы по работе.

5 Контрольные вопросы

5.1 Расскажите как измерить фазовый сдвиг непрерывных сигналов методом эллипса.

5.2 Расскажите как измерить фазовый сдвиг непрерывных сигналов методом линейной развертки.

Литература

Электрорадиоизмерения / Под редакцией профессора А.С.Сигова. - М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2004.

Метрология и радиоизмерения / Под редакцией В.И. Нефедова. -М.: Высшая школа, 2003.

Метрология и электрорадиоизмерения в телекоммуникационных системах / Под редакцией В.И. Нефедорова. -М.: Высшая школа, 2001.

Класен К.Б. Основы измерений. Электронные методы и приборы в измерительной технике. -М.: Постмаркер, 2000.

Лабораторная работа

Изучение техники измерения мощности ваттметром

1 Цель работ: приобрести навыки измерения мощности в цепях постоянного и переменного тока; приобрести навыки безопасной работы с измерительными приборами.

2 Оснащение рабочего места:

- ваттметр;
- источник питания;
- реостат;
- амперметр;
- провода.

3 Порядок выполнения работы

3.1 Изучить условные обозначения, нанесенные на лицевую панель приборов и заполнить таблицу 1.

Таблица 1

Наименование и тип прибора	Условное обозначение на шкале прибора	
	изображение	что обозначает

3.2 Рассчитать цену деления амперметра на всех пределах измерения. Результаты расчетов записать в таблицу 2.

Таблица 2

Предел измерения, А	Количество делений, дел	Цена деления шкалы, А/дел

3.3 Рассчитать цену деления шкалы ваттметра на всех пределах. Цену деления ваттметра C_x Вт определяют по формуле

$$C_x = \frac{U_H \cdot I_H}{N}$$

где U_H - предел измерения ваттметра по напряжению;

I_H - предел измерения ваттметра по току;

N - количество делений шкалы ваттметра

3.4 Результаты расчетов записать в таблицу 3.

Таблица 3

U_H , В	I_H , А	N , дел	C_x , Вт/дел

3.5 Собрать схему в соответствии с рисунком 1.

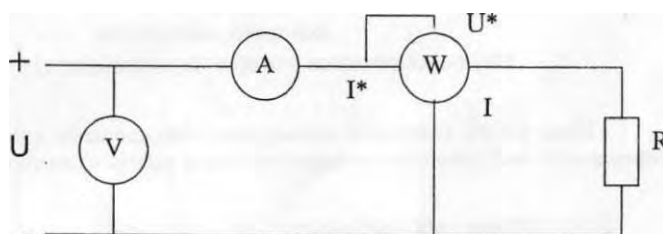


Рисунок 1

3.6 Измерить значения силы тока и мощность постоянного тока.

Результаты измерений и значения напряжения источника питания занести в таблицу 4

Таблица 4

U_{un}, B	I, A	$P_w, Bт$	Рассчитанное значение		
			$P, Bт$	$\Delta_P, Bт$	$\delta_P, \%$

3.7 Рассчитать истинные значения мощности P , абсолютную и относительную погрешности измерения мощности. Результаты записать в таблицу 4.

3.8 Оформить отчет.

3.9 Сделать выводы по работе.

3.10 Ответить на контрольные вопросы.

4 Содержание отчета

4.1 Название и цель работы.

4.2 Таблицы № 1-4.

4.3 Рисунок 1.

4.4 Примеры расчетов.

4.5 Выводы по работе.

5 Контрольные вопросы

5.1 Назовите приборы которыми можно измерять мощность.

5.2 Объясните, от чего зависит погрешности измеряемой мощности в цепях постоянного тока с помощью ваттметра.

5.3 Расскажите, как можно измерить коэффициент мощности.

Литература

Электрорадиоизмерения / Под редакцией профессора А.С.Сигова. - М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2004.

Метрология и радиоизмерения / Под редакцией В.И. Нефедова. -М.: Высшая школа, 2003.

Метрология и электрорадиоизмерения в телекоммуникационных системах / Под редакцией В.И. Нефедорова. -М.: Высшая школа, 2001.

Класен К.Б. Основы измерений. Электронные методы и приборы в измерительной технике. -М.: Постмаркер, 2000.

Лабораторная работа
Измерение сопротивления изоляции проводов и кабелей, электрических машин

1 Цель работы: приобрести навыки измерения сопротивления изоляции проводов, кабелей, электрических машин; приобрести навыки безопасной работы с измерительными приборами.

2 Оснащение рабочего места:

- мегомметр;
- электродвигатель;
- провода;
- кабели.

3 Порядок выполнения работы

3.1 Изучить условные обозначения, нанесенные на лицевую панель мегомметра и заполнить таблицу 1.

Таблица 1

Наименование и тип прибора	Условное обозначение на шкале прибора	
	изображение	что обозначает

3.2 Измерение сопротивления изоляции проводов и кабелей.

3.2.1 Выполнить измерение сопротивления изоляции проводов и кабелей. По результатам измерений заполнить таблицу 2.

Таблица 2

Марка провода	Результат измерения	Заключение

3.2.2 Определить и промаркировать начало и конец каждого провода в кабеле.

3.3 Измерение сопротивления изоляции обмоток статора трехфазного двигателя. Измерения проводить в соответствии со схемой, изображенной на рисунке 1.

3.3.1 Измерить сопротивление изоляции r_{xA} , r_{xB} , r_{xC} между каждой из обмоток и корпусом (землей) двигателя. Результаты измерения записать в таблицу 3.

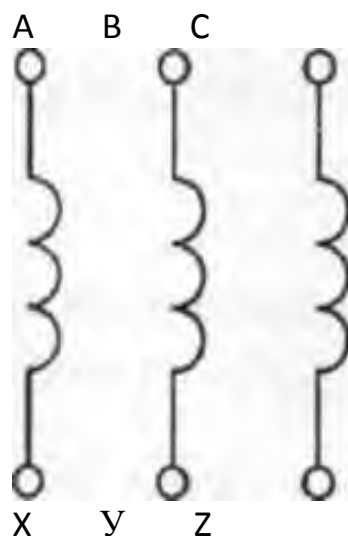


Рисунок 1

Таблица 3

$r_{xA}, \text{Ом}$	$r_{xB}, \text{Ом}$	$r_{xC}, \text{Ом}$	$r_{xAB}, \text{Ом}$	$r_{xBC}, \text{Ом}$	$r_{xCA}, \text{Ом}$

3.3.2 Измерить сопротивление изоляции r_{xav} , r_{xvc} , r_{xca} , между каждыми двумя обмотками двигателя. Результаты измерения записать в таблицу 3.

3.3.3 Определить и промаркировать начало и конец каждой обмотки.

3.4 Оформить отчет.

3.5 Сделать выводы по работе.

3.6 Ответить на контрольные вопросы.

4 Содержание отчета

4.1 Название и цель работы.

4.2 Таблица 1.

4.3 Рисунок 1.

4.4 Таблицы 2,3.

4.5 Выводы по работе.

5 Контрольные вопросы

5.1 Перечислите приборы для измерения сопротивления изоляции.

5.2 Расскажите принцип измерения сопротивления изоляции кабеля.

5.3 Расскажите принцип выполнения измерения сопротивления изоляции двигателя.

Литература

Электрорадиоизмерения / Под редакцией профессора А.С.Сигова. - М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2004.

Метрология и радиоизмерения / Под редакцией В.И. Нефедова. -М.: Высшая школа, 2003.

Метрология и электрорадиоизмерения в телекоммуникационных системах / Под редакцией В.И. Нефедорова. -М.: Высшая школа, 2001.

Классен К.Б. Основы измерений. Электронные методы и приборы в измерительной технике. -М.: Постмаркер, 2000.

Лабораторная работа

Измерение сопротивления различными приборами

1 Цель работы: приобрести умения проводить измерения сопротивления различными методами.

2 Оснащение рабочего места:

- комбинированный прибор Ц4360;
- измеритель RLC APPA 703;
- вольтметр В7-22А;
- набор резисторов.

3 Порядок выполнения работы

3.1 Пользуясь техническим описанием каждого из приборов изучить их принцип действия и основные характеристики в режиме измерения сопротивления.

3.2 Заполнить таблицу 1.

Таблица 1

Наименование прибора	Тип прибора	Основные технические характеристики в режиме измерения сопротивления

3.3 Пользуясь техническим описанием и инструкцией по эксплуатации поочередно подготовить приборы к работе в режиме измерения сопротивлений и проводить измерения сопротивлений резисторов.

ПОДГОТОВКУ ПРИБОРОВ ВЫПОЛНЯТЬ В СООТВЕТСТВИИ С ПУНКТАМИ "ПОДГОТОВКА К РАБОТЕ" И "ПОРЯДОК РАБОТЫ" ТЕХНИЧЕСКОГО ОПИСАНИЯ И ИНСТРУКЦИИ ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ.

3.4 Результаты работы занесите в таблицу 2.

Таблица 2

$R_{\text{ном}}, \text{Ом}$	$R_{\text{изм}}, \text{Ом}$			$\Delta_R, \text{Ом}$			$\delta_R, \%$		
	Ц43 60	APPA 703	PB7-22A	Ц43 60	APPA 703	PB7-22A	Ц43 60	APPA 703	PB7-22A

3.5 Рассчитать абсолютную и относительную погрешности измерений.

3.6 Результаты расчётом занести в таблицу 2.

3.7 Ответить на контрольные вопросы.

3.8 Сделать выводы по работе.

4 Содержание отчета:

4.1 Название и цель работы.

4.2 Таблица 1

4.3 Таблица 2.

4.4 Примеры расчётов.

4.5 Выводы по работе.

5 Контрольные вопросы:

5.1 Назовите приборы, которыми можно измерить сопротивление.

5.2 Перечислите методы измерения сопротивления.

5.3 Укажите преимущества и недостатки каждого метода.

Литература

Электрорадиоизмерения / Под редакцией профессора А.С. Сигова. - М : ФОРУМ-ИНФРАМ, 2004.

Метрология и радиоизмерения / Под редакцией В.И. Нефедова. -М.: Высшая школа, 2003.

Метрология и электрорадиоизмерения в телекоммуникационных системах / Под редакцией В.И. Нефедорова. -М.:Высшая школа, 2001.

Класен К.Б. Основы измерений. Электронные методы и приборы в измерительной технике. -М.: Постмаркер, 2000.

Лабораторная работа

Измерение параметров катушки индуктивности

1 Цель работы: приобрести умение измерять параметры катушек индуктивности; приобрести навыки безопасной работы с измерительными приборами.

2 Оснащение рабочего места:

- измеритель цифровой АРРА 703;
- мост универсальный Е7-4.

3 Порядок выполнения работы

3.1 Изучить назначение и принцип действия измерителя АРРА 703

3.2 Сведения об измерителе АРРА 703 занести в таблицу 1.

3.3 Изучить назначение и принцип действия моста универсального Е7-4.

3.4 Сведения о мосте универсальном Е7-4 занести в таблицу 1.

Таблица 1

Наименование и тип прибора	Основные технические характеристики

3.5 Подготовить измеритель Е7-8 к работе согласно технического описания и инструкции по эксплуатации прибора.

3.6 Измерить индуктивность обмоток катушки индуктивности измерителем Е7-8 в режиме с автоматическим выбором предела измерений.

3.7 Результаты измерений занести в таблицу 2.

Таблица 2

Наименование и тип прибора	$L_{ном.}, Гн$	$L_{изм.}, Гн$	$\Delta L, Гн$	$\delta L, \%$

3.8 Подготовить мост Е7-4 к работе согласно технического описания и инструкции по эксплуатации прибора.

3.9 Измерить индуктивность обмоток катушки индуктивности мостом Е7-4.

3.10 Результаты измерений занести в таблицу 2.

3.11 Оформить отчёт.

3.12 Сделать выводы по работе.

3.13 Ответить на контрольные вопросы.

4 Содержание отчёта

4.1 Название и цель работы.

4.2 Таблица 1.

4.3 Таблица 2.

4.4 Примеры расчётов.

4.5 Выводы по работе.

5 Контрольные вопросы

5.1 Назовите методы измерения индуктивности.

5.2 Зарисуйте схему моста переменного тока для измерения индуктивности и запишите условие его равновесия.

5.3 Объясните условие равновесия моста переменного тока выражаемого двумя уравнениями.

Литература

Электрорадиоизмерения / Под редакцией профессора А.С. Сигова. - М: Форум: ИНФРА-М2004.

Метрология и радиоизмерения / Под редакцией В.И. Нефедова- М.: Высшая школа, 2003.

Метрология и радиоизмерения в телекоммуникационных системах / Под редакцией В.И Нефёдова - М.: Высшая школа, 2001.

Классен К.Б. Основы измерений. Электронные методы и приборы в измерительной технике. -М.: Постмаркер, 2000.

Лабораторная работа

Измерение параметров полупроводниковых приборов

1 Цель работы: приобрести умения проводить измерение параметров транзисторов с помощью измерителя параметров ТЛ-4М и определять их соответствие техническим условиям; приобрести навыки безопасной работы с измерительными приборами.

2 Оснащение рабочего места:

- ампервольтметр - испытатель транзисторов ТЛ-4М;
- набор транзисторов.

3 Порядок выполнения работы:

3.1 Пользуясь техническим описанием и инструкцией по эксплуатации изучить принцип действия и основные характеристики ампервольтметра.

3.2 Заполнить таблицу 1.

Таблица 1

Наименование прибора	Тип прибора	Основные технические характеристики в режиме измерения параметров транзисторов

3.3 Пользуясь справочником полупроводниковых приборов заполнить таблицу 2.

Таблица 2

Наименование параметра	Обозначение и единица измерения	Марка транзистора		
1 Обратный ток коллекторного перехода	$I_{кбо}$, мкА			
2 Обратный ток эмиттерного перехода	$I_{эбо}$, мкА			
3 Постоянный ток коллектора	I_k , мкА			
4 Статический коэффициент передачи тока в схеме с общим эмиттером	$h_{21э}$			

3.4. Пользуясь инструкцией по эксплуатации подготовить прибор к работе в режиме измерения обратного тока коллекторного перехода.

ПРИБОР ПОДГОТОВИТЬ К РАБОТЕ В СООТВЕТСТВИИ С ПУНКТОМ "ПОДГОТОВКА ПРИБОРА К РАБОТЕ" ИНСТРУКЦИИ ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ

3.5 Собрать схему измерения в соответствии с рисунком 1.

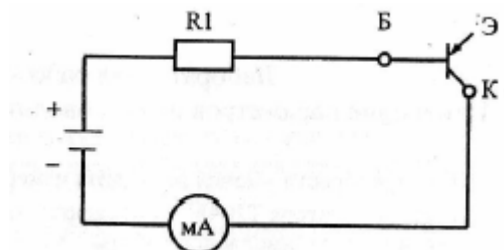


Рисунок 1

3.6 Провести измерения.

3.7 Полученные результаты занести в таблицу 3.

Таблица 3

Марка транзистора	Измеренное значение							Рассчитанное значение
	$I_{КБ0},$ мкА	$I_{ЭБ0},$ мкА	$I_K,$ мкА	I_{K1} мкА	$I_{Б1},$ мкА	$I_{K2},$ мкА	$I_{Б2},$ мкА	

3.8 Собрать схему измерения в соответствии с рисунком 2.

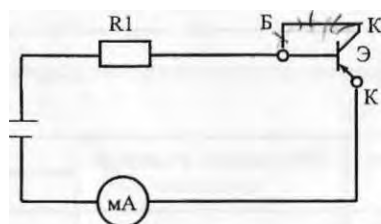


Рисунок 2

3.9 Провести измерения.

3.10 Полученные результаты занести в таблицу 3.

3.11 Собрать схему измерения в соответствии с рисунком 3.

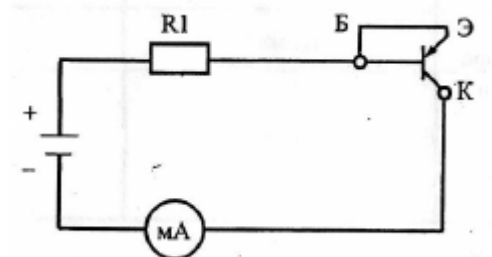


Рисунок 3

3.12 Провести измерения.

3.13 Полученные результаты занести в таблицу 3.

3.14 Привести пример расчета статического коэффициента усиления.

3.15 Оформить отчет.

3.16 Сделать выводы по работе.

3.17 Ответить на контрольные вопросы.

4 Содержание отчета

4.1 Название и цель работы.

4.2 Таблица 1.

4.3 Схемы для измерения параметров транзистора.

4.4 Таблица 2.

4.5 Таблица 3.

4.6 Примеры расчета.

4.7 Выводы по работе.

5 Контрольные вопросы

5.1 Дайте определение транзистора.

5.2 Назовите параметры транзистора.

5.3 Расскажите, какие параметры транзистора называются максимально допустимыми.

5.4 Объясните подключение выводов транзистора для определения статического коэффициента усиления.

Литература

Электрорадиоизмерения / Под редакцией профессора А.С.Сигова. - М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2004.

Метрология и радиоизмерения / Под редакцией В.И. Нефедова. -М.: Высшая школа, 2003.

Метрология и электрорадиоизмерения в телекоммуникационных системах / Под редакцией В.И. Нефедорова. -М.: Высшая школа, 2001.

Классен К.Б. Основы измерений. Электронные методы и приборы в измерительной технике. -М.: Постмаркер, 2000.

Самоконтроль знаний

Тест по всему курсу учебной дисциплины

?

"Стробоскопические осциллографы"

+ Используются для получения изображения формы сигнала, упорядоченный отбор мгновенных значений сигналов и осуществляет его временное преобразование

- Обеспечивают исследуемые формы колебаний СВЧ и кратковременные импульсы сигналов с помощью специальной ЭЛТ трубки бегущей волны (ТБВ), она имеет отклонённую систему в виде линии бегущей волны

- Осциллографы, которые с помощью электронного запоминающего ?

Для каких целей применяют осциллограф?

+ Для визуального наблюдения сигналов и измерения параметров сигнала

- Для создания напряжения низкой частоты

- Оба ответа верны

?

Какие блоки входят в состав структурной схемы осциллографа?

+ Аттенюатор, генератор развёртки, усилитель Y, усилитель X, ЭЛТ.

- Аттенюатор, Запоминающее устройство, Схема синхронизации, генератор развёртки.

- Аттенюатор, измеритель амплитуды, контроллер.

?

Как обозначается скоростной, стробоскопический осциллограф?

- C8

+ C7

- C9

?

На какие виды делятся электронные осциллографы?

- Универсальные
- + Электромеханические
- Запоминающие
- + электронные
- Специальные

?

На какие типы делятся все осциллографы?

- + Универсальные
- Электромеханические
- + Запоминающие
- Электронные (электронно-лучевые)
- + Специальные
- + Скоростные, стробоскопические

?

Классификация осциллографов по числу наблюдаемых сигналов?

- + Многолучевые
- + Многофункциональные
- + Многоканальные

?

Для чего необходим аттенюатор?

- Для работы с сигналом, имеющим маленькую амплитуду

+ Для работы с сигналом, имеющим большую амплитуду

?

Для чего служит генератор развёртки?

+ Для управления перемещения луча, в горизонтальном направлении

- Для управления перемещения луча, в вертикальном направлении

?

Виды развёртки?

+ Линейная

- Нелинейная

+ Синусоидальная

+ Спиральная

- Прямоугольная

+ Эллиптическая (круговая)

?

Виды линейной развёртки?

- Постоянная

+ Непрерывная

+ Однократная

- Многократная

+ Автоколебательная

+ Ждущая

?

Развёрткой называют...

- ...линию на экране осциллографа, которую вычерчивает луч при наличии запускающего сигнала.

- + ...линию на экране осциллографа, которую вычерчивает луч в отсутствии сигнала.

?

Какие два режима синхронизации установлены в осциллографе?

- + внутренние

- рабочие

- + внешние

- автоматические

?

Что подается на Y пластины в ЭЛТ?

- + исследуемый сигнал

- внутренний сигнал от генератора развертки

- ничего

?

Осциллограф С-7 является?

- запоминающим

- + стробоскопическим

- специальным

?

Для чего предназначен модулятор?

- для ускорения электронного луча
- + для регулирования интенсивности пучка электронов

?

В каком из осциллографов присутствует ТБВ?

- запоминающий
- + скоростной
- стробоскопический
- специальный

?

Что является функциональным звеном запоминающего осциллографа?

- + ЭЛТ с памятью
- ТБВ
- + запоминающее устройство
- генератор развертки

?

Светолучевые осциллографы относятся ?

- к регистрирующим приборам косвенного действия
- + к регистрирующим приборам прямого действия
- к регистрирующим приборам совместного действия

?

Какая из перечисленных формул является правильной для нахождения амплитуды?

- $U_m = C_y / l_y$
- + $C_y * l_y = U_m$
- $U_m = C_y - l_y$
- $U_m = l_y / C_y$

?

Основными узлами светолучевых осциллографов являются?

- запоминающее устройство и отметчик времени
- + магнитный блок с осциллографическим гальвонометром
- + оптическая система
- + развертывающее устройство и отметчик времени

?

Как образуется осциллограмма?

- Путём попадания луча на пластины X и Y.
- + Путём отклонения электрического луча под действием электрического сигнала
- Путём отклонения электрического луча под действием пластин X и Y

?

Что в ЭЛТ вырабатывает сигнал, это устройство так же называется электрической пушкой?

- Модулятор
- Анод
- + Катод

?

"Скоростные осциллографы"

- Используются для получения изображения формы сигнала, упорядоченный отбор мгновенных значений сигналов и осуществляет его временное преобразование

+ Обеспечивают исследуемые формы колебаний СВЧ и кратковременные импульсы сигналов с помощью специальной устройства позволяют сохранять на определённое время исследуемый сигнал

?

"Запоминающие осциллографы"

- Обеспечивают исследуемые формы колебаний СВЧ и кратковременные импульсы сигналов с помощью специальной ЭЛТ трубки бегущей волны (ТБВ), она имеет отклонённую систему в виде линии бегущей волны

+ Осциллографы, которые с помощью электронного запоминающего устройства позволяют сохранять на определённое время исследуемый сигнал

- Используются для получения изображения формы сигнала, упорядоченный отбор мгновенных значений сигналов и осуществляет его временное преобразование

?

Классификация анализаторов:

- Механические АС

- Пневматические АС

+ Дисперсионные АС

?

"Выберите правильный ответ"

+ Частотой называют число одинаковых событий или циклов процесса, приходящихся на единицу времени

- Частотой называют число одинаковых процессов

- Частотой называют число одинаковых гармоник

?

"Единицы измерения частоты:"

+ Гц

- Па

- кН

+ МГц

?

"Частота обозначается:"

- Q

- T

- G

+ F

+ f

?

"Частота и период связаны следующим соотношением:"

- $f=1/P$

+ $f=1/T$

- $f=T/Q$

+ $T=1/f$

?

"Основными средствами для измерения частоты являются:"

+ осциллограф

- генератор

+ гетеродинные частотомеры

+ цифровые измерители частоты и интервалов времени

?

"Основными методами измерения частоты являются"

+ метод интерференционных фигур Лиссажу

+ метод модуляции яркости изображения с использованием круговой развертки

- метод линейной развертки

- метод преобразования фазового сдвига во временной интервал

?

"Выберите верную формулу Лиссажу:"

+ $f_x/f_y = n_y/n_x$

- $f_x \cdot f_y = n_x \cdot n_y$

+ $f_x \cdot n_x = f_y \cdot n_y$

?

"Резонансный частотомер предназначен для измерения:"

- длины волны, периода, частоты

+ частоты, длины волны

- скважности, длительности, отношения частот

- длины волны, длительности, скважности

?

"Цифровой метод измерения частоты используется в"

- резонансных частотомерах

+ Электронно-счетных частотомерах

+ цифровых частотомерах

- гетеродинных частотомерах

?

Чему равен период синусоидального сигнала с частотой 2,5 КГц?

- 2,5 мс

- 4мс

+ 0,4мс

- 25 мс

?

Нахождение физической величины опытным путем с помощью специальных устройств это?

-погрешность

-средства измерения

-результат измерения

величине

+измерение

?

Виды измерений:

+прямые

+косвенные

+совокупные

+совместные

-субъективные

-дифференцированные

-аналоговые

?

Как называется кратная единица (приставка) равная 10 в 12 степени, и как называется дольная приставка, равная 10 в минус 12 степени?

- мега, милли
- гига, нано
- тера, нано
- + тера, пико
- нет правильного ответа

?

Номинальной постоянной счетчика электрической энергии называется:

- коэффициент, равный энергии за 100 оборотов счетчика
- коэффициент, равный энергии за 10 оборотов счетчика
- + коэффициент, равный энергии за 1 оборот счетчика
- коэффициент, равный энергии за максимальное число оборотов счетчика

?

К какому методу измерения относятся нулевой и метод замещения?

- непосредственной оценки
- +сравнения с мерой
- сравнения с паспортными данными

?

Мера-это?

- измерение нужной физической величины

-сравнивание двух величин

+средство измерения предназначенное для воспроизведения физической величины заданного размера

-средство измерения физической величины

?

Измерительная система-это?

-совокупность систем без вспомогательных устройств

+совокупность систем со вспомогательными устройствами

-измерительный прибор

-измерительное устройство

?

ГЗ-это?

-генератор шумовых сигналов

-генератор импульсов

+низкочастотный генератор

-высокочастотный генератор

?

Скважность-это?

-отношение катета к гипотенузе

-отношение амплитуды к длительности

-отношение длительности к амплитуде

+отношение периода к длительности

-отношение периода к амплитуде

?

Приборы С класса это:

-вольтметры

-ваттметры

-генераторы

+осциллографы

?

Сколько пар анодов входит в состав ЭЛТ?

-одна

-четыре

-три

+две

?

В каких пределах обеспечивается измерение фазового сдвига методом круговой развертки?

-от 0 до 90 градусов

-от 0 до 120 градусов

-от 0 до 180 градусов

+от 0 до 360 градусов

?

Чувствительность-это?

+производная от перемещения указателя альфа по измеряемой величине X

- зависимость выходного сигнала от входного
- производная от перемещения указателя альфа по измеряемой Y
- разность соответствующая двум соседним отметкам шкалы

?

Период-это?

- +одно полное колебание
- два полных колебания
- нет правильных ответов

?

Цифровое кодирование-это?

- операция преобразования непрерывной величины в дискретную
- +последовательность цифр подчиняющихся определенному закону
- преобразование дискретной величины в непрерывную

?

Чем обусловлена основная погрешность?

- не идеальностью используемых методов
- +не идеальностью используемых средств измерений
- неисправностью приборов

?

Измерительный генератор-это?

- +источник стабильных сигналов определенной формы
- прибор для визуального наблюдения сигнала

-прибор для измерения напряжения

?

НЧ генератор вырабатывает синусоидальное напряжение до 150В в диапазоне частот:

-200МГц-300МГц

-50мкГц-100мкГц

+20Гц-200кГц

?

Что измеряет импульсный вольтметр?

+амплитуду выходного сигнала

-амплитуду входного сигнала

-амплитуду обоих сигналов

?

Для чего нужны измерительные мосты?

+измерение параметров электрической цепи

-измерение параметров вольтметров

-измерение параметров амперметров

-нет верного ответа

?

Для чего нужны электронные омметры?

-для измерения реактивных сопротивлений электрической цепи

+для измерений активного сопротивления резисторов, контактов, проводов

-нет верного ответа

?

Как подключается ваттметр в цепь?

-последовательно

-параллельно

+последовательно и параллельно

-нет верного ответа

-все ответы верны

?

Какого вида измерений не существует?

-совместного

- прямого

+ линейного

+ дифференциального

- косвенного

?

Определите интервал частот низкочастотного генератора-

+ 20Гц- 200КГц

- 200КГц- 50МГц

- >50МГц

- до20Гц

?

Для расширения пределов измерения по току используются:

- добавочные резисторы
- добавочные конденсаторы
- +шунты
- выпрямители

?

Шунты включаются в схему :

- + параллельно измерительному механизму
- последовательно измерительному механизму

?

Добавочные резисторы включаются в схему:

- параллельно измерительному механизму
- + последовательно измерительному механизму

?

Триггеры Шмитта используются в измерительных схемах для:

- получения синусоидальных колебаний
- + получения прямоугольных импульсов
- получения круговой развертки
- получения пилообразных импульсов

?

Универсальный осциллограф имеет обозначение:

-C7

-C9

+C1

-C8

?

Порог чувствительности - это..

-максимальное изменение входного сигнала, вызывающее изменение выходного сигнала

+минимальное изменение входного сигнала, вызывающее изменение выходного сигнала

- максимальная разность между двумя измерениями

-минимальная разность между двумя сигналами

?

Линейная развертка создается -

- подачей синусоидального напряжения на X и Y -пластины

- подачей на X и Y -пластины синусоидального напряжения одинаковой частоты и амплитуды

+ подачей пилообразного напряжения на X- пластины

-подачей на X и Y-пластины двух синусоидальных напряжений одинаковой частоты

?

Синусоидальная развертка создается -

+ подачей синусоидального напряжения на X и Y -пластины

- подачи на X и Y -пластины синусоидального напряжения одинаковой частоты и амплитуды
- подачи пилообразного напряжения на X- пластины
- подачи на X и Y-пластины двух синусоидальных напряжений одинаковой частоты

?

Круговая развертка создается -

- подачи синусоидального напряжения на X и Y -пластины
- + подачи на X и Y -пластины синусоидального напряжения одинаковой частоты и амплитуды со сдвигом на 90
- подачи пилообразного напряжения на X- пластины
- подачи на X и Y-пластины двух синусоидальных напряжений одинаковой частоты
- подачи на X и Y -пластины синусоидального напряжения одинаковой частоты и амплитуды со сдвигом на 180

?

Преимущества электрического сигнала:

- +передается на большие расстояния
- +обрабатывается с помощью технических средств
- +легко преобразовывается в другие виды

?

Что такое квантование?

- +процесс перехода от непрерывных сигналов к дискретным
- процесс перехода от дискретных сигналов к непрерывным
- + процесс перехода от непрерывных сигналов к цифровым

-процесс перехода от неэлектрических сигналов к электрическим

?

Усилитель предназначен:

- для передачи сигнала на большие расстояния
- для контроля входных и выходных величин
- + для изменения параметров выходных величин
- для изменения параметров входных величин

?

Аналоговым называют сигнал:

- если он может принимать конечное число конкретных значений;
- + если он непрерывно изменяется по амплитуде во времени;
- если он несет текстовую информацию;
- если он несет какую-либо информацию;
- если это цифровой сигнал

?

Сигнал называют дискретным, если:

- + он может принимать конечное число значений;
- он непрерывно изменяется по амплитуде во времени;
- он несет текстовую информацию;
- он несет какую-либо информацию;
- + этот сигнал можно кодировать

?

В каком из нижеследующих примеров сигнал является непрерывным (аналоговым):

- сигнал маяка
- сигнал светофора
- сигнал SOS
- + электрокардиограмма
- дорожный знак
- + сигнал датчика

?

Какое из высказываний ЛОЖНО:

- получение и обработка информации является необходимым условием жизнедеятельности любого организма;
- для обмена информацией между людьми служат языки;
- информацию условно можно разделить на виды в зависимости от формы представления;
- + процесс обработки информации техническими устройствами носит осмысленный характер;
- процессы управления – это яркий пример информационных процессов, протекающих в природе, обществе, технике.

?

Какое из высказываний ЛОЖНО:

- дискета может являться носителем графической информации;
- бумага может являться носителем графической информации;
- + грампластинка может являться носителем графической информации;
- холст может являться носителем графической информации;
- видеопленка может являться носителем графической информации.

?

Мост постоянного тока состоит из:

- двух плеч и двух диагоналей
- двух плеч и четырех диагоналей
- + четырех плеч и двух диагоналей
- четырех плеч и четырех диагоналей

?

К мостам переменного тока относятся:

- + мост СОТИ
- + **мост Вина**
- + мост Максвелла
- мост Лейбница
- мост Мак-Класки

?

Мультивибратор в измерительных схемах используется для:

- преобразования аналоговых сигналов в дискретные
- + получения последовательности пилообразных импульсов
- + получения последовательности прямоугольных импульсов
- преобразования дискретных сигналов в аналоговые

?

При измерении мощности методом двух приборов общая мощность равна :

- + сумме показаний ваттметров
- произведению показаний приборов

- $(PW1+PW2)/PW1*PW2$

- нет правильного ответа

?

Резонансный метод используется для измерения:

-напряжения

- тока

+ индуктивности

+ емкости

- сопротивления

- мощности

?

Расшифруйте обозначение транзистора МП39:

-маломощный низкочастотный транзистор диаметром 39

-маломощный полупроводниковый транзистор диаметром 39

-маломощный полупроводниковый транзистор с номером разработки 39

+маломощный низкочастотный транзистор с номером разработки 39

?

Расшифруйте обозначение диода Д226Б:

+выпрямительный диод с номером разработки 226 разновидности Б

-импульсный диод с номером 226 разновидности Б

-усилительный диод с временем восстановления 226 наносекунд разновидности Б

-импульсный диод с временем восстановления 226 наносекунд разновидности Б

-выпрямительный диод с временем восстановления 226 наносекунд
разновидности Б

?

Ждущая развертка осциллографа получается при:

-отсутствии исследуемого сигнала

-отсутствии сигнала запуска

+наличии сигнала запуска

-наличии исследуемого сигнала

?

Калибратор длительности предназначен для:

+проверки коэффициента отклонения канала горизонтального отклонения
луча

-проверки коэффициента отклонения канала вертикального отклонения луча

?

«Метрология – это наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их
единства и способах достижения требуемой точности»

+Да

-Нет

?

«.....- это нахождение значения физической величины с помощью
специальных технических средств»

-Средство измерения

+ Измерение

- Метод измерения

?

Какому множителю соответствует приставка «кило»

- 10^6

$+10^3$

-10^4

?

Множитель 10^{-6} соответствует какой из следующих приставок?

-а) - «милли»

-б) - «нано»

+в) - «микро»

?

Расставьте множители а) 10^6 , б) 10^9 , в) 10^{-9} , г) 10^{-12} к соответствующим приставкам:

- пико-, — гига-, - нано-, - мега-

+1) 10^6 -мега, 10^9 -гига, 10^{-9} -нано, 10^{-12} -пико

-2) 10^6 -нано, 10^9 -мега, 10^{-9} -пико, 10^{-12} -гига

-3) 10^6 -гига, 10^9 -пико, 10^{-9} -мега, 10^{-12} -нано

?

Поверка средств измерений – определение метрологическим органом погрешности средства измерения и...

+ установление их пригодности к применению.

- демонтаж средства измерения.

- сравнение ее с величиной, воспроизводимой мерой.

?

Сколько существует методов измерений

+а) два

-б) три

-в) четыре

?

Как называются приборы для измерения угла фазового сдвига?

- частотомеры

- осциллографы

- вольтметры

+ фазометры

- амперметры

?

В каких единицах выражается угол фазового сдвига?

- Гц

- В

- Вт

- Вб

+ градусы

?

Какие методы измерения угла фазового сдвига вы знаете?

+ осциллографический

- контурный

+ компенсационный

+ метод преобразования фазового сдвига во временной интервал

+ цифровой

?

Какие осциллографические методы используются для измерения угла фазового сдвига?

- + линейной развертки
- ждущей развертки
- + эллипса
- + круговой развертки

?

Фазовращатель- это...

- средство измерения для выработки сигнала измерительной информации с определенной амплитудой
- + средство измерения для воспроизведения сигналов с заданным значением фазового сдвига

?

Метод преобразования фазового сдвига во временной интервал используется в

- + электронных аналоговых фазометрах
- цифровых частотомерах
- + цифровых фазометрах

?

Фазометры составляют подгруппу ... электронных приборов

- А
- В
- + Ф

- C

- Ч

?

Какие из формул не являются верными для расчета угла фазового сдвига методом линейной развертки?

- $\phi = ab/ac \cdot 360^\circ$

+ $\phi = (ab - ac) : 360^\circ$

+ $\phi = (ab + ac) \cdot 360^\circ$

?

Выберите верную формулу для определения фазового сдвига методом эллипса

+ $\phi = \arcsin(h/H)$

- $\phi = \arcsin(h+H)$

- $\phi = \sin(h/H)$

?

Миллиамперметром необходимо измерить ток в 20мА. а прибор показал 21мА. Чему равна абсолютная погрешность прибора?

- 0.8мА

- 0,5мА

- 0,5%

+ 1мА

- 1%

?

Расшифровать условные обозначения на шкале прибора (смотри рисунок)



+ миллиамперметр электромагнитной системы, проверен испытательным напряжением 500В, класс точности 1,0

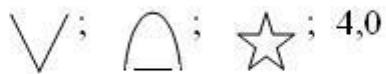
- миллиамперметр индукционной системы, проверен испытательным напряжением 500В. класс точности 1,0

- магнитоэлектрический миллиамперметр , проверен испытательным напряжением 1кВ, класс точности 1,0

- миллиамперметр электростатической системы, проверен испытательным напряжением 500 В. класс точности 1,0

?

Расшифровать условные обозначения на шкале прибора (смотри рисунок)



-Вольтметр электростатической системы, проверен испытательным напряжением 500В и классом точности 4,0

+Вольтметр магнитоэлектрической системы, проверен испытательным напряжением 500В и классом точности 4,0

-Вольтметр индукционной системы ,проверен испытательным напряжением 500В и классом точности 4,0

?

Чему равна цена деления шкалы ваттметра с пределом измерений 150В, 5А и числом делений 150?

-1Вт/дел

+5Вт/дел

-10Вт/дел

Перечень вопросов по ОКР

Примерные вопросы по ОКР №1

- 1** Дайте определение: измерительный прибор; измерение; измерительная установка; метод непосредственной оценки; средства измерения; надежность.
- 2** Приведите структурную схему и принцип действия электронных вольтметров кодоимпульсного типа.
- 3** Укажите принцип действия, достоинства и недостатки магнитоэлектрического измерительного механизма.
- 4** Приведите структурную схему и принцип действия электронных вольтметров частотно-импульсного типа.
- 5** Укажите принцип действия, достоинства и недостатки электромагнитного измерительного механизма.
- 6** Зарисуйте схемы включения, поясните принцип работы измерительных трансформаторов тока и напряжения
- 7** Зарисуйте структурные схемы и объясните принцип действия аналоговых электронных вольтметров.

Примерные вопросы по ОКР №2

- 1 Дайте определение: осциллограф; универсальный электронный вольтметр; генератор сигналов специальной формы; универсальный осциллограф; скоростной осциллограф; стробоскопический осциллограф; запоминающий осциллограф; частотомер.
- 2 Приведите назначение, структурную схему, принцип работы НЧ-генератора.
- 3 Приведите назначение, структурную схему, принцип действия универсального осциллографа
- 4 Изложите осциллографические методы измерения частоты
- 5 Приведите назначение, структурную схему, принцип действия цифрового частотомера
- 6 Приведите назначение, структурную схему, принцип действия генератора шума.
- 7 Зарисуйте конструкция и объясните принцип работы ЭЛТ.
- 8 Изложите принцип измерения активной мощности в трехфазных цепях переменного тока методом двух приборов, зарисуйте схемы включения ваттметров, запишите расчетные формулы.
- 9 Зарисуйте схему, выведите условие равновесия моста постоянного тока.
- 10 Приведите назначение, структурную схему, принцип действия прибора для измерения магнитного потока .
- 11 Приведите назначение, структурную схему, принцип действия генератора импульсов.

Примерный перечень вопросов к экзамену, дифференцированному зачету

Вопросы:

- 1 Изложите виды измерений.
- 2 Перечислите и дайте определение методов измерений.
- 3 Дайте определение средств измерений.
- 4 Перечислите погрешности средств измерений.
- 5 Перечислите погрешности измерений.
- 6 Изложите основные характеристики переменных токов и напряжений.
- 7 Укажите назначение, классификацию электромеханических измерительных приборов. Зарисуйте структурную схему.
- 8 Перечислите основные элементы электромеханических приборов. Дайте определение каждого из них.
- 9 Перечислите основные характеристики электромеханических приборов. Дайте определение каждой из них.
- 10 Укажите принцип действия, достоинства и недостатки магнитоэлектрического измерительного механизма.
- 11 Укажите принцип действия, достоинства и недостатки электромагнитного измерительного механизма.
- 12 Укажите принцип действия, достоинства и недостатки электродинамического и ферродинамического измерительных механизмов.
- 13 Укажите принцип действия, достоинства и недостатки электростатического измерительного механизма.
- 14 Изложите назначение и принцип действия компенсатора постоянного тока.
- 15 Укажите назначение и классификацию электронных приборов.
- 16 Изложите назначение и принцип действия электронных вольтметров постоянного тока.
- 17 Изложите назначение и принцип действия электронных вольтметров переменного тока.
- 18 Изложите назначение и принцип действия универсальных электронных вольтметров.
- 19 Дайте определение дискретизации, квантованию и цифровому кодированию. Зарисуйте структурную схему цифрового измерительного прибора.
- 20 Изложите принцип действия цифрового измерительного прибора времяимпульсного метода преобразования. Приведите структурную схему и диаграмму работы.
- 21 Изложите принцип действия цифрового измерительного прибора кодоимпульсного метода преобразования. Приведите структурную схему и диаграмму работы.
- 22 Изложите принцип действия цифрового измерительного прибора частотно-импульсного метода преобразования. Приведите структурную схему и диаграмму работы.
- 23 Укажите назначение, классификацию и основные параметры измерительных генераторов.
- 24 Изложите основные характеристики измерительных генераторов.

- 25 Дайте определение, зарисуйте структурную схему и объясните принцип действия низкочастотных генераторов.
- 26 Дайте определение, зарисуйте структурную схему и объясните принцип действия высокочастотных генераторов.
- 27 Дайте определение, зарисуйте структурную схему и объясните принцип действия генераторов импульсов.
- 28 Укажите параметры идеального и реального прямоугольного импульса.
- 29 Дайте определение, зарисуйте структурную схему и объясните принцип действия генераторов шумовых сигналов.
- 30 Дайте определение, зарисуйте структурную схему и объясните принцип действия генераторов сигналов специальной формы.
- 31 Укажите назначение и принцип действия стандартов и синтезаторов частоты.
- 32 Изложите назначение и классификацию электронно-лучевых осциллографов.
- 33 Приведите классификацию осциллографов по числу наблюдаемых сигналов.
- 34 Зарисуйте и объясните принцип действия электронно-лучевой трубки.
- 35 Укажите назначение, принцип действия универсального осциллографа. Приведите структурную схему.
- 36 Поясните принцип создания изображения на экране ЭЛТ.
- 37 Укажите виды развёрток, применяемых в осциллографах. Приведите примеры.
- 38 Изложите принцип измерения коэффициента нелинейных искажений сигналов.
- 39 Сделайте сравнительный анализ универсального, скоростного, стробоскопического и запоминающего осциллографов.
- 40 Приведите классификацию методов и приборов для измерения частоты.
- 41 Изложите осциллографические методы измерения частоты.
- 42 Укажите назначение цифрового частотомера. Зарисуйте структурную схему.
- 43 Приведите классификацию методов и приборов для измерения фазового сдвига.
- 44 Изложите осциллографические методы измерения фазового сдвига.
- 45 Объясните компенсационный метод измерения фазового сдвига.
- 46 Объясните измерение фазового сдвига методом преобразования во временной интервал.
- 47 Изложите сущность измерения мощности в цепях постоянного тока. Зарисуйте схемы включения.
- 48 Изложите сущность измерения активной мощности методом одного прибора.
- 49 Объясните принцип измерения активной мощности методом двух приборов.
- 50 Укажите классификация и назначение приборов для измерения параметров элементов электрических цепей с сосредоточенными постоянными.
- 51 Укажите назначение электронных омметров. Объясните принцип действия электронных омметров с прямой и обратной шкалой.
- 52 Объясните принцип действия электронных омметры на основе операционного усилителя.

54 Изложите принцип действия измерительного моста постоянного тока.

55 Изложите принцип действия измерительного моста переменного тока.

56 Объясните измерение сопротивления методом амперметра и вольтметра.

57 Укажите классификацию и назначение приборов для измерения токов элементов электрических цепей с распределенными постоянными.

59 Укажите параметры полупроводниковых приборов. Зарисуйте схемы
ния.

61 Укажите приборы, предназначенные для измерения параметров катушек индуктивности. Объясните принцип действия приборов.

63 Укажите основные направления автоматизации измерений.

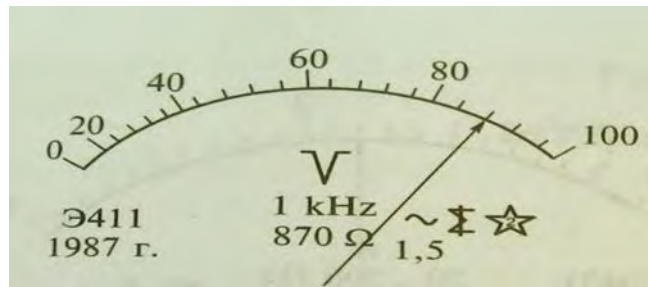
64 Приведите классификацию средств измерений по уровню автоматизации.

1 При поверке после ремонта вольтметра класса 1,5 с конечным значением шкалы 5В в точках шкалы 1, 2, 3, 4, 5В получены соответственно следующие показатели образцового прибора: 0,95; 2,07; 3,045; 4,075; 4,95. Определить, сохранился ли класс точности прибора?

3Миллиамперметр магнитоэлектрической системы рассчитан на ток 500мА.

Определить чувствительность прибора и число делений шкалы, если цена деления 5 мА/дел

[illegible]



5 Шкала амперметра с пределом 1 А разбита на 100 делений. Определить цену деления и ток в цепи, если показания амперметра 65 делений.

6 Определить относительную погрешность измерения напряжения 100 В вольтметром класса точности 2,5 В на номинальное напряжение $U_n = 250$ В.

7 Определить частоту синусоидального сигнала, изображенного на экране осциллографа при:

а) длительности развертки $D_p = 0,1$ мс/дел, множитель развертки $M_p = 1$, (масштаб 1:1);

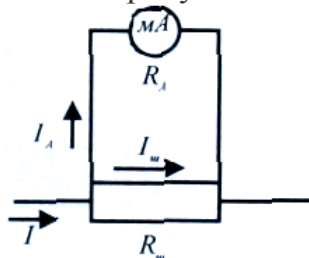
б) длительности развертки $D_p = 0,1$ мс/дел, множитель развертки $M_p = 0,2$.



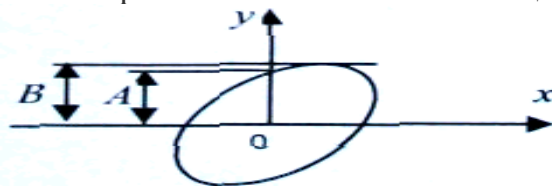
8 Определить частоту f_x исследуемого сигнала по полученным на экране осциллографа фигурам Лиссажу в соответствии с рисунком. Напряжения частот f_x и образцовой f_0 подведены соответственно к горизонтальным и вертикальным пластинам ЭЛТ ($f_0 = 1500$ Гц).



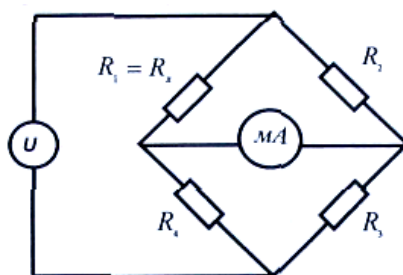
9 Рассчитать значения сопротивлений $R_{ш1}$ и $R_{ш2}$ шунтов для расширения пределов измерения магнитоэлектрического миллиамперметра с током полного отклонения $I_A = 5$ мА и внутренним сопротивлением $R_A = 150$ Ом до значений $I_1 = 100$ мА, $I_2 = 50$ мА в соответствии с рисунком.



10 Определить значение угла сдвига фаз между напряжениями, изменяющимися по закону $u_1 = U_{m1} \sin(\omega t + \varphi)$ и $u_2 = U_{m2} \sin \omega t$ образующими на экране эллипс рисунок, если измерены значения $B=4$ и $A=3$ в делениях шкалы



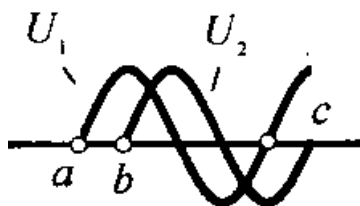
11 Определить значение сопротивления резистора R_x , включённого в первое плечо моста постоянного тока, если в уравновешенном состоянии сопротивления других плеч моста составляют $R_2=100 \text{ Ом}$, $R_3=200 \text{ Ом}$, $R_4=2000 \text{ Ом}$.



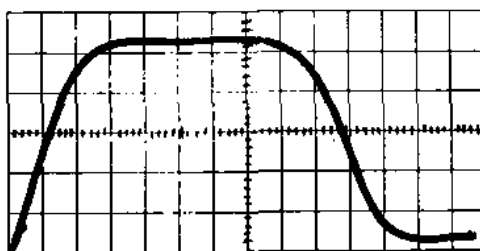
12 Можно ли измерить ток в 1500 мА магнитоэлектрическим милливольтметром с пределом измерения $U_v=75 \text{ мВ}$ и внутренним сопротивлением $R_v=5 \text{ Ом}$ (шкала имеет 150 делений)? Чему равна цена деления C_1 по току

13 При измерении сопротивления R величиной $7,5 \text{ Ом}$ по цепи протекал ток $I=16 \text{ А}$, а вольтметр показал напряжение $U=121 \text{ В}$. Определить абсолютную и относительную погрешности измерения сопротивления.

14 Определить значение угла сдвига фаз φ между двумя синусоидальными сигналами $U_1 = U_{m1} \sin \omega t$ и $U_2 = U_{m2} \sin \omega t$ по осциллограммам напряжений на экране осциллографа, если $ab=5 \text{ мм}$, $ac=20 \text{ мм}$.



15 Определить параметры прямоугольного импульса, полученного на экране осциллографа С1-67, при следующих положениях ручек: $C_y=0,1 \text{ В/дел}$, длительность развертки $D_p=1 \text{ мкс/дел}$; множитель развертки $M_p=0,2$.



16 Определить амплитудное, среднеквадратичное и средневывпрямленное значение идеального прямоугольного импульса изображенного на экране осциллографа. Масштаб изображения 1:1; 1 дел=5мм, коэффициент отклонения $C_y = 0,1 \text{ В/дел}$, длительность калиброванной развертки $D_p = 1 \text{ мкс/дел}$



17 По осциллограмме определить скважность импульсов.



18 Значение сопротивления R_1 полученное при измерений, оказалось равным 202 Ом. Действительная его величина $R = 200 \text{ Ом}$. Определить абсолютную и относительную погрешности измерения сопротивления.

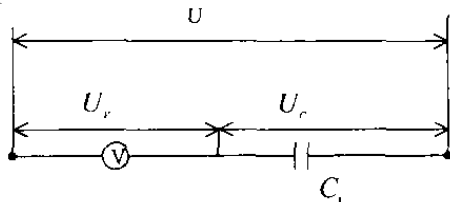
19 При измерении мощности ваттметром класса точности 0,5 рассчитанным на номинальную мощность $P_n = 500 \text{ Вт}$, записано показание $P_1 = 150 \text{ Вт}$. Найти пределы, между которыми заключено действительное значение измеряемой мощности.

20 Дайте характеристику и укажите область применения приборов представленных на рисунке



21 Каким образом из магнитоэлектрического вольтметра на 1,5 В с добавочным сопротивлением $R_0 = 145 \text{ Ом}$ и сопротивлением рамки $r = 5 \text{ Ом}$ можно сделать амперметр на 1 А? Составить схему прибора.

22 Расширение предела измерения электростатического вольтметра осуществляется по следующей схеме. Определить величину добавочной емкости, если предел измерений вольтметра на 1,5 кВ необходимо расширить до 15 кВ, емкость вольтметра $3 \cdot 10^{-5} \text{ мкФ}$.



23 Амперметр электромагнитной системы в цепи постоянного тока показывает ток I . Каковы будут показания этого прибора в цепи переменного тока, если его амплитудное значение будет равно I .

24 Выпрямительный миллиамперметр с однополупериодной схемой выпрямления включен в цепь переменного тока синусоидальной формы с параметрами $I_m = 15,5 \text{ мА}$, $f = 50 \text{ Гц}$. Определить:

- показания миллиамперметра, если его шкала градуирована в действующих значениях тока синусоидальной формы;

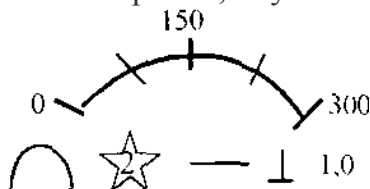
- значение постоянного тока проходящего через измерительный механизм.

25 С помощью электронного осциллографа осуществлялось измерение параметров сигнала от ГНЧ и была получена осциллограмма следующего вида



Значение переключателей: $C_v=0,5B/дел$ $D_v=50мс/дел$. Определить параметры сигнала методом калиброванной шкалы ($U_a=?f=?$).

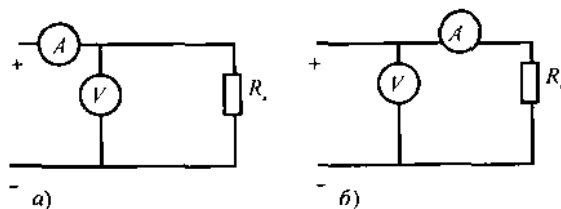
26 Миллиамперметр типа М94, лицевая панель которого показана на рисунке, используется при измерении тока 100 мА и 250 мА. Определить абсолютную и относительную погрешности измерения, обусловленные прибором.



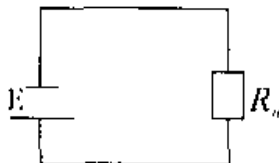
27 Показания амперметра $I_1=20$ А, его верхний предел $I_{норм}=50$ А, показания образцового прибора, включенного последовательно, $I=20,5$ А. Определить относительную и приведенную погрешности амперметра.

28 Определить чувствительность по напряжению магнитоэлектрического прибора на 3 мА внутренним сопротивлением 10 Ом и шкалой на 150 делений.

29 Определить относительные погрешности измерения сопротивления методом амперметра и вольтметра по схемам а) и б), если $R_a=0,01$ Ом, $R_v=40$ кОм, $R_x=2$ Ом



30 Рассчитать действительное значение тока I_x в исследуемой цепи, считая что $E=15$ В; $R_H=1000$ Ом-сопротивление резистора. В цепь, последовательно с резистором включили амперметр с внутренним сопротивлением 1 Ом. Какое значение тока покажет прибор? Рассчитать абсолютную и относительную погрешности измерения.



31 С помощью электронного осциллографа осуществлялось измерение параметров сигнала от генератора импульсов и была получена осциллограмма следующего вида



Определить U_m —? T —? Q —? Если $C_y=2 \text{ В/дел}$ $D_p=0,5 \text{ мс/дел}$.

32С помощью осциллографа были измерены следующие параметры «меандра» $U_m=5 \text{ В}$, $f=50 \text{ Гц}$, $C_y = 1 \text{ В/дел}$, $D_p = 10 \text{ мс/дел}$. Построить осциллограмму.

Перечень учебных изданий

- 1 Елизаров А.С. Электрорадиоизмерения / А.С. Елизаров. – Мн.: Высшая школа, 1986.- 320с.
- 2 Нефедов, А.С. Метрология и радиоизмерения / В.И. Нефедов. -М.: Высшая школа, 2003.- 300 с.
- 3 Сигов, А.С. Электрорадиоизмерения / А.С.Сигов. - М.: Форум, 2009.- 381с.
- 4 Тартаковский, Д.Ф. метрология, стандартизация и технические средства измерений / Д.Ф.Тартаковский. - М.: Высшая школа, 2001.- 205 с.
- 5 Шишмарев, В.Ю. Электрорадиоизмерения. Практикум. / В.Ю. Шишмарев. – М.: Академия, 2006.- 240с.